Généralités sur la description mécanique des crises.

Par Catherine Bodeau-Pean Ostermann.

Tout se passe comme si les sciences humaines et sociales ne comportaient pas -excepté peut-être l'économie- d'outils propres à modéliser les phénomènes pour rendre l'analyse d'un seul applicable à des cas similaires mais différents.
Les sciences dures fournissent ce langage approprié pour déterminer des lois de comportement d'un système social en crise et prédire son évolution.

La mécanique, au sens large, présente :
- des lois du mouvement des Corps,
- des notions de stabilité et d'instabilité (thermodynamique linéaire, dont la loi de dégradation de l'énergie ; chaos : cycles, attracteurs, attracteur de Hénon, bassins d'attraction ; anneaux de Moêbius). La physique nucléaire apporte aussi des notions qui seront utilisées dans la description et dans la tentative de modélisation des évènements accidentels très graves.
Mes apports, synthétisés sur mon site web (1), rubrique "Modèles de la crise et applications aux éléments concrets de terrain" présentant un système en crise comme « passant » par trois stades successifs : réaction, extension et, enfin, convergence seront la base sur laquelle reposeront les comparaisons avec le fonctionnement, l'évolution des systèmes physiques.

***

Les lois de Newton énoncent une théorie de la mécanique classique décrivant le mouvement corpusculaire.
La première loi énonce qu'un objet qui ne se déplace pas continuera à ne pas se déplacer. La seconde Loi énonce que la force sur un objet est égale au produit de sa masse et de son accélération (plus la masse est importante, plus la force pour assurer l'accélération est grande). La troisième Loi énonce que, si on exerce une force de 200 sur un objet, alors, l'objet exerce une pression de 200 (en réaction).

Les crises sont considérées comme des objets, soumis à des forces, ayant une masse et subissant une accélération.

1. Principe d'inertie.

La Loi d'inertie, première Loi de Newton, s'applique à des situations de crise. En effet, les process industriels, fruits de l'expérience de collectifs humains organisés, ne seront pas modifiés si on n'exerce aucune pression sur eux visant à remettre en cause le déroulement classique de ceux-ci. Une remarque, à ce propos : il faut déployer une force au moins égale à l'inertie du process pour que le système bouge, si c'est une pression interne au système qui tente de le faire bouger alors que, si la pression provient de l'extérieur, elle peut être plus légère (revient-on alors aux limites de la seconde Loi généralisées à toutes les forces, y compris celles provenant de l'extérieur ? je pense qu'appliquée à un process humain, la distinction entre force exercée par l'extérieur et force provenant de l'intérieur doit être faîte.

Peut-être trouver des présupposés plus proches de ce qu'on veut décrire dans la phase de réaction dans la physique du noyau.

1.1. Fusion et fission : laquelle est la plus adaptée pour représenter ce qui brise l'inertie du système ?

Distinction entre fusion et fission : on sait que l'énergie dégagée par la fusion est exponentielle à celle dégagée par une fission. Or, l'une des distinctions entre les deux mécanismes est que la fusion est assimilation d'un noyau par l'autre, alors que la fission ne décrit pas d'assimilation complète entre deux corps qui conservent leurs identités propres. Le mécanisme génère de l'énergie alors que pendant la fusion, à la fois le mécanisme et les corps physiques dégagent de l'énergie. Une constante pour ce qui est de l'énergie dégagée par le mécanisme de fusion (c'est à dire qu'elle adopte des valeurs similaires à celles de la fission) mais les corps physiques dégagent des valeurs d'énergie bien supérieures à leur énergie intrinsèque. Ces notions de physique nucléaire s'appliquent à la crise. En effet, fréquemment, on estime que l'échelle de certains évènements dépasse de beaucoup ce que l'esprit humain peut concevoir. Ainsi, au-delà de seuils, on n'envisage plus de situations. Par exemple, les expérimentations dans le domaine nucléaire, faîtes notamment sur un mini-réacteur expérimental français, recouvrent des seuils de température et de pression très grands mais le cas limite d'une part de maintien de ces valeurs-limites pendant très longtemps n'est jamais simulé, du fait de la résistance physique des matériaux –qui est limitée- mais aussi, car cette restriction n'empêche pas de faire des simulations informatisées au-delà de ces seuils-limites, aussi donc peut-être du fait des mécanismes de défense que l'on bâtit tous lorsqu'il nous est demandé de travailler sur des scénarii qui mettent en scène notre propre fin. J'avoue en avoir souffert. Mais cette souffrance n'empêche pas ma lucidité : en les envisageant, on peut mettre en place des mécanismes de protection pertinents et efficaces. La simulation d'accidents extrêmes poursuit cet objectif. Ainsi, il faut ouvrir l'esprit humain à envisager ces cas-extrêmes, plutôt que de stopper le progrès humain, comme le proposent certains groupes écologistes. En vertu des Lois de la complexité, stopper notre exposition aux risques industriels ne conduirait qu'à augmenter notre exposition à d'autres sources de risques. Ouvrir notre conception et accepter l'émergence de ce type de risques est donc un moyen de nous protéger, à terme, contre l'émergence des risques au sens général du terme.

2. Loi de composition des forces.

Comme l'énonce la seconde Loi, la masse et l'accélération augmentent simultanément. Process de nature généralisable. Lire les évènements accidentels majeurs sous ce filtre invariant, en quelque sorte, transposition de la lecture des valeurs de deux paramètres qui sont toujours comparables comme celles de la masse et de l'accélération, représente les prémisses de la construction de la théorie des systèmes en crise. En phase de réaction, le système s'étend. Là, l'étude de la mécanique classique nous donne des éléments. En revanche, quant à la mesure de l'ampleur de la réaction, en plus de la physique nucléaire, qui envisage des cas extrêmes similaires aux crises, peut-on puiser dans la dynamique mécanique d'objets physiques ? Le système en crise décrit trois mouvements successifs : une phase de réaction, une phase d'extension et une phase de convergence des trajectoires vers une trajectoire commune. Le système n'est pas linéaire. La mécanique classique est inopérante mais cela vaut la peine de tenter de décrire des règles thermodynamiques non linéaires. Dans des situations où la production de paramètres généralisés est très utile, l'évolution non-linéaire des systèmes, les théorèmes appliqués aux systèmes linéaires ne s'appliquent plus (notamment

second principe et équilibre local qui permettaient de ramener équations non-linéaires simples à des systèmes auxquels on pouvait attribuer une solution bien définie).
Les grands principes thermodynamique linéaire :
- relations de réciprocité ($L_{ij}=L_{ji}$)
- théorème de production d'entropie, eux non plus, ne s'appliquent pas.

Mais il faut les citer car ils sont une base de compréhension pour ceux qui interviennent effectivement dans le « décryptage» des situations de crise. Si on ne peut le ramener à un système linéaire, on peut décrire le système autrement : cycles, production d'entropie d'excès, fonctions de Liapounov, décrivent des stabilités pour des systèmes instables. Il y a assymétrie entre les coefficients phénoménologiques, et pas de relation de réciprocité. La seule manière de décrire le comportement d'un système instable par nature et de parvenir à généraliser la description de son fonctionnement est de mettre en exergue des « convergences » dans sa « trajectoire ». On va aboutir, pour les plus complexes des états du système qui correspondent au plus fort de la crise, à des structures « par couches », trajectoires propres à un attracteur de type de celui de Hénon. Supposer qu'un ordre sous-tend la progression interne aux situations de crise a une conséquence sur le choix des outils utilisés pour les modéliser : les plus complexes des attracteurs ne sont pas les figurines idoines. Parmi les types d'attracteurs, ceci renvoie t-il aux moins désorganisés des formes d'attracteurs que sont les cycles limites ? Les crises sont des phénomènes cycliques…avec, à un moment donné, un obstacle (correspond-il à l'atteinte d'un état stationnaire, depuis lequel les mouvements cycliques débutent). Je ne sais pas. Réaction, extension et convergence ont un caractère auto-renforçant. Mais sont-ils des états critiques qui franchis successivement sous l'effet de contraintes extérieures, de plus en plus élevées, permettent d'atteindre après plusieurs bifurcations un état totalement organisé ?

2.1. Eléments de compréhension de la phase de réaction d'un système à une crise.

Ce qu'on peut aujourd'jui, c'est tenter de mieux comprendre la phase de réaction. Mais je suis partagée. Pour mieux comprendre cette phase, il faut donner une direction à ma recherche. Alors, comprendre aussi la direction de l'ensemble de ces trois phases. Choisir alors dans quelle catégorie puiser la modélisation qui décrira au plus juste le fonctionnement interne des crises. Le mouvement qui décrit le mieux une crise est le cycle (dans lequel on retrouve les trois phases qui se succèdent invariablement dans une crise) mais à la limite du chaos du fait de la complexité, inhérente au système (la complexité est un nombre très élevé de paramètres). Un bon départ est d'analyser le mouvement d'un ressort :

2.1.1. Mouvement du ressort pendulaire : Une masse m est accrochée à un ressort de raideur k qui peut s'écarter de sa position d'équilibre d'un angle a lors on montre que :
$l''=g \cos a +k/m(l_0-1)+1\ a'^2-\text{lambda}\ l'$
$a'' =-(g \sin a + 2\ l'\ a')/1-\mu a'$
où lambda et µ sont les coefficients d'amortissement.

Décrire la trajectoire des éléments qui composent la situation de crise revient à modéliser la trajectoire des points vers l'attraction et le bassin d'attraction d'un attracteur dans lequel on retrouve une sorte de régularité, du moins dans la trajectoire convergente des points. Il s'agirait désormais de déterminer quels attracteurs sont plus spécifiquement concernés.
Il y a quatre types d'attracteurs :

- l'attracteur de point, tel qu'un pendule se balançant dans les deux sens et s'arrêtant à un point. L'attracteur peut venir comme point, dans ce cas, il donne un état d'équilibre où aucun changement ne survient.

- l'attracteur périodique, où s'ajoute juste un mouvement au pendule pour compenser le frottement et le pendule a maintenant un cycle limité dans son espace de phases. L'attracteur périodique dépeint les processus qui se répètent.

- l'attracteur de tore, image d'un grand beignet, sur lequel on peut déplacer un point au-dessus, au-dessous et autour de sa superficie extérieure, sans jamais prendre deux fois le même chemin. L'attracteur de tore dépeint les processus qui restent dans un secteur confiné mais errent d'un endroit à l'autre dans ce secteur
(les trois premiers attracteurs ne sont pas associés à la théorie du chaos parce qu'ils sont des attracteurs fixes).

- les attracteurs étranges.

Les types d’attracteurs plus spécifiquement concernés sont soit l’un des 4 types d’attracteurs fixes, soit les attracteurs étranges.

2.1.2. Structure interne de la phase de réaction.

Décrire structure interne de la phase de réaction. Si on retient la similitude entre les attracteurs et les crises, il faudra alors étudier plus profondément la régularité des bassins d’attraction, qui sont ce qu’il y a de cyclique dans le chaos d’une part, et qui sont la simulation la plus juste possible d’un système dynamique, d’autre part.

2121 Eléments formels de la théorie du chaos.

-les fondements : le billard impossible. Un système physique macroscopique avec croissance lente de l’écart initial conduit à croissance très rapide de l’écart final n’est pas déterministe parce que son avenir est prévisible.

-la boussole : on ajoute, à une boussole, un champ tournant, en plaçant autour de l’aiguille aimentée un ensemble de 4 bobines alimentées 2 à 2 par des courants sinusoï daux. L’équation différentielle du mouvement s’écrit :

$\text{tô}''(+k\text{tô}')+(w_1)2+\cos \text{tô}+(w_2)2 \cos(\text{tô}-w_{t\,o})=0(2)$
$w_1=(MB_1/J)_{1/2}$
$w_2=(MB_2/J)_{1/2}$

avec tô : élongation
w0 : vitesse angulaire
k0’ : frottement liquide.

Il n’y a pas de solution générale exacte. Seule une intégration numérique permet d’obtenir une solution approchée par approximations successives. « Le chaos est le mouvement désordonné imprévisible d’un système physique macroscopique très sensible à la définition des conditions initiales, dépendant d’au moins trois paramètres et régi par une équation différentielle non linéaire ».

-espace de phases d’une boussole avec un champ tournant. On aboutit à un espace de phases à 3 dimensions tô, tô’ et phy (coupe de Poincaré). Introduction du terme de frottement, K*tô. Le système est dissipatif. L’énergie est dissipée sous forme de chaleur. Le mouvement chaotique entretient la dynamique du fait du champ tournant qui injecte en permanence de l’énergie dans le système. La coupe de Poincaré se simplifie pour donner un ensemble de points formant une structure feuilletée, étonnante, que l’on a baptisée « attracteur étrange ». Cette structure est la même quelle que soit l’échelle à laquelle on l’observe : c’est une fractale. « L’attracteur étrange est une région limitée de la coupe de Poincaré sur laquelle viennent s’accumuler sans jamais se couper les trajectoires de phase d’un système dissipatif entretenu, ayant au moins 3 degrés de liberté dans l’espace de phases, une grande sensibilité aux conditions initiales, et un mouvement chaotique ».

L’un d’eux, l’attracteur de Hénon, adopte une structure feuilletée, qui a la même forme qu’un arc parabolique. L’itération de cet arc produit une courbe composée d’une parabole avec deux couches. La prochaine itération créera une structure à 4 couches, la suivante huit, et ainsi de suite. L’auto-similarité, facteur explicatif des fractales, est une notion qui compte aussi dans la compréhension des phénomènes de crise, en partie parce qu’elle détient des composantes ordonnées. Or, ce qu’on cherche à mettre en lumière, ce sont les aspects ordonnés des phénomènes chaotiques.

2.1.2.2. Parenthèse sur la formalisation des cycles en informatique.

Une fonction programmée sur informatique, nommée « cycles ». Trouver à partir de quand la suite Un devient périodique et entre quelles valeurs elle « tourne ». Calculer en parrallèle $x=U_n$ et $y=U_{2n}$. La suite y avance donc deux fois plus vite que la suite x. Supposons que la suite U devienne périodique à partir d’un certain temps. Alors, on aura nécessairement un jour ou l’autre : x=y. Il suffit ensuite de comparer U_{n+1}, U_{n+2},... à x=Un jusqu’à une égalité: Un+p=Un (nécessairement, p=<n). On a lors trouvé le cycle, de longueur p={Un, Un+1,Un+2,..,Un p-1}. Pour certaines valeurs de k, la fonction « cycles » ne trouve pas de période. Les 100 premières valeurs de x ne sont pas étudiées car elles sont trop désordonnées. Les valeurs de k qui produisent des bifurcations (doublement des cycles) valent environ : k1=2, k2=2.44949, k3=2.54409, k4=2 ;56441, K5=2.56876, K6=2.56969, K7=2.56989,.. Ces valeurs définissent des intervalles : d1=k2-k1, d2=k3-k2, d3=k4-k3,.. Les rapports de ces longueurs tendent vers d~= 4.66920 (constante de Feigenbaum).

Les bassins d’attraction sont des trajectoires similaires. Ce qui peut être utile dans la compréhension des situations de crise, c’est le fait qu’un système avec un vaste bassin d’attraction est généralement plus stable qu’un système qui n’a qu’un petit bassin d’attraction. (Car les grands systèmes sociaux se sont, en quelque sorte, ancrés dans l’histoire ; leur trajectoire a laissé une trace profonde et elle est auto-renforçante : plus ils seront considérés, plus cette trace s’ancrera).

Notons que la notion de « bassin d"attraction » a déjà été utilisée en sciences sociales :

-bassins d’attraction au voisinage des hôpitaux,
-projet ECHO (peuples d’Océanie),
-bassins régionaux d’emploi,
-notion utilisée par l’Education Nationale.

Cependant, la modélisaiton des bassins d’attraction est plus difficile à trouver. On remarque qu’on trouve plus aisément des représentations géométriques sans analyse arithmétique.

2.1.2.3. « Effet papillon » et calcul de l’erreur dûe à cet effet.

Soit la suite Un
Un+1=Un+kUn(1-Un)
Et k=3 (sensibilité maximale)
Terme initial est Uo qui est dans [0,1+1/k].
A partir de U_{48}, l'approximation des résultats donnés par application de la formule conduisent à des valeurs très divergentes : la figure géométrique subit l'effet de la forte vulnérabilité à des conditions intiales sensiblement différentes les unes des autres. Il y a cependant une convergence vers un possible, p k=0.05 et deux suites, avec des valeurs initiales 0,1 et 1,4.

Un+1=f(Un) avec f(x)=x+kx(1-x)
Tous les termes de la suite sont dans l'intervalle [0,1+1/k].
Nous allons voir comment une erreur initiale e_o sur le terme Uo peut se propager.
Soit e_n l'erreur absoule sur le terme Un.
E_n=If(Un+ln)-f(Un)I~=e_nIf'(Un)I
F'(x)=1+k-2kx
E_{n+1}/e_n~=I1+k-2kUnI facteur par lequel est multipliée l'erreur, dans le passage du rang n au rang n+1.
Dans le passage du rang 0 au rang n, l'erreur initiale ln est multipliée par (e1/e0)(e2/e1)...(e_n/e_{n-1})=e_n/e_0.
Taux d'augmentation de l'erreur lambda n=(e_1/e_0)(e_2/e_1)...(e_n/e_{n-1})
Ln(lambda)=1/n sum(ln(e_m+1/e_m),m,0,n-1)=1/n sum(lnI1+k-2kUmI,m,0,n-1).
Pour une valeur de U_0, on peut calculer la somme du second membre et prendre l'exponentielle du résultat. C'est le coefficient moyen d'amplification de l'erreur sur les n premiers rangs de la suite.
Taux moyen d'amplification de l'erreur, de U_0 à Um, pour n. Avec k=3, la suite des coefficients lambda tend vers 2, indépendamment du terme initial. Quand k=3, les erreurs sont doublées à chaque calcul d'un nouveau terme.
Si k=2, lambda tend vers 0,94 (et la suite Un converge vers 1, très lentement).
Si k=1, lambda tend vers 0, et la suite vers 1 (un est un point fixe qui aspire violemment toute la suite et neutralise les erreurs).
Si k a une très faible valeur (k=0,01), lambda converge vers 1.

3.Comment en tirer des leçons pour instaurer des systèmes durablement résistants aux crises ?

Les leçons qu'on peut tirer de la régularité des bassins d'attraction est que l'on évolue dans un espace confiné. On l'a vu, le bassin d'attraction se définit par l'ensemble des trajectoires qu'empruntent les différents points de l'attracteur. Ce sont donc les trajectoires au pire voisines, ou au mieux, identiques, qui composent cet espace confiné décrit ci-avant.
En ce sens, l'anneau de Moêbius, une surface infinie, appliquée à ce qui se passe dans l'environnement, permettra de poursuivre la construction de ma théorie car elle est la représentation géométrique du confinement des problématiques, des éléments d'une situation complexe, en un même lieu, d'une part, et qu'elle représente aussi et d'autre part, les fractales. La complexité de la forme se reproduit lorsqu'on suture l'anneau de Moêbius, chaque morceau a une double torsion par rapport à l'anneau duquel il est issu. L'anneau de Moêbius est une figure géométrique issue de l'univers des paradoxes, troisième paramètre qui en fait une bonne illustration géométrique des situations de crise. Elle se rapproche en ce sens des situations de crise. Lorsqu'on découpe l'anneau de Moêbius en son centre, on obtient un seul anneau, mais à deux bords. Si on le découpe au tiers de la largeur, on obtient un anneau de Moêbius (au centre) et un anneau à deux bords enlacés.

***

Ainsi, comme on l’a décrit, certaines figures géométriques, dont certaines issues de la mécanique non linéaire, permettent de représenter graphiquement l’évolution du cours normal des choses en crise. Les principales composantes d’un système qui subit une crise : situations extrêmes, générées par une implosion plus que par l’intervention d’un facteur externe, plusieurs composantes suivent la même évolution après une période de désordre intense, et contre intuitivement ; premièrement, au-delà d’un laps de temps, le système dans son ensemble converge en effet, les différentes composantes empruntent des chemins d’attraction qu’on a tenté de décrire, et similaires ; deuxièmement, la crise ne peut être convenablement entendue que si l’on interprète l’un des moments du système au regard d’un moment, qui lui est voisin, et qui s’oppose à lui : la crise est le point où se rejoignent les paradoxes.