

L'effet papillon : la science est-elle désormais incapable de prévoir l'avenir ?

Etienne Ghys

ENS Lyon, CNRS



Aristote

Depuis Aristote, au IV^e siècle avant J. C., et jusqu'à Galilée, la physique du mouvement est basée sur l'observation *naturelle* des phénomènes : après un certain temps, un système physique en mouvement tend à se placer dans une position d'équilibre. Les corps en mouvement tendent vers le repos .



Galilée

Puis viendront des hommes de génie, au XVI^e siècle, Galilée, bien sûr, mais aussi Copernic, Képler pour remettre en cause plusieurs siècles de vérité *aristotélicienne* en imaginant que sans les frottements qui ralentissent le mouvement, celui-ci se poursuivrait indéfiniment de façon périodique. Huygens, successeur de Galilée et prédécesseur de Newton, imagine alors les premières pendules pour mesurer le temps ; il *suffit* de lutter contre les frottements pour aider le pendule à garder son mouvement.



Copernic



Képler

Et pour plus de trois siècles, la physique du mouvement semble régie par un dogme : après un certain temps un système physique en mouvement, si on lui fournit une énergie suffisante pour compenser les frottements, finit par osciller et trouver son régime permanent qui est périodique. La physique jusqu'au début du XX^e siècle est déterministe, tout se calcule, tout se prédit.

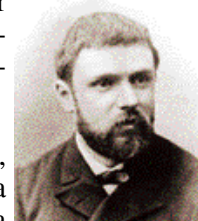


Huygens



Newton

Cependant, dès la fin du XIX^e siècle, Hadamard et Poincaré, dans le contexte de la mécanique céleste, s'attaquent au problème de la stabilité des mouvements et dans *La Science et l'Hypothèse*, Poincaré déclare déjà bien en avance sur son temps : "*Un dixième de degré en plus ou en moins en un point quelconque, le cyclone éclate ici et, non pas là, et il étend ses ravages sur des contrées qu'il aurait épargnées.* "



Poincaré



Hadamard



Lorenz

Le génie de Lorenz est d'introduire ce concept de sensibilité aux conditions initiales ou de chaos et de l'illustrer sur un *modèle réduit* hypersimplifié avec des équations qui régissent le climat. Il donne en 1973 une conférence dont le titre résume à merveille cette idée "*Le battement des ailes d'un papillon au Brésil peut-il provoquer un ouragan au Texas ?*". L'effet papillon était né.

Grâce à Poincaré, Hadamard et Lorenz, notre conception du déterminisme a changé. Nous savons que le présent détermine le futur mais nous savons également qu'une connaissance imparfaite du présent, comme c'est presque toujours le cas, rend la détermination du futur illusoire.

Lorenz a écrit : "*Si un battement d'ailes d'un papillon peut engendrer un ouragan, la même chose est vraie pour tous les autres battements du même papillon, mais aussi pour les battements d'ailes des millions d'autres papillons, sans parler de l'influence des innombrables créatures plus puissantes comme les hommes par exemple.*"

La sensibilité aux conditions initiales semble empêcher le mouvement de trouver un régime permanent, il devient erratique, imprévisible et chaotique. Alors, si on ne peut plus prévoir le futur, que vont faire le mathématicien et le physicien? On a trop souvent limité la pensée de Lorenz à cette idée : il y a une quantité immense de petites causes et chacune peut être responsable de grands effets.

Mais une idée essentielle de Lorenz, moins bien comprise, réintroduit une forme de prévision possible dans le futur :

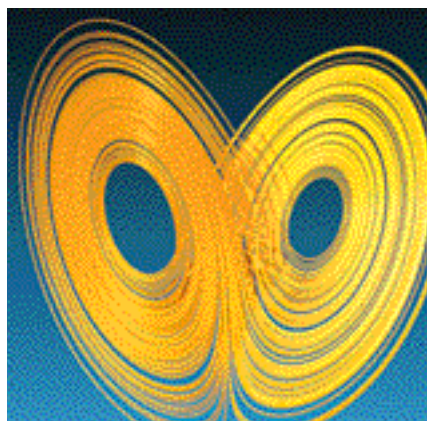
"*J'avance l'idée qu'au fil des années les petites perturbations ne modifient pas la fréquence d'apparition des événements tels les ouragans : la seule chose qu'ils peuvent faire, c'est de modifier l'ordre dans lequel ces événements se produisent.*"

Cette idée de Lorenz ouvre une voie aux scientifiques pour dire quelque chose sur ce qui se passera dans le futur. Les trajectoires particulières ne sont pas prévisibles, mais il est possible en utilisant probabilité et indices de confiance, de prévoir des fréquences et des moyennes.

En amont un travail de statisticiens s'impose, il faut faire un grand nombre de relevés et des représentations des résultats, des calculs de fourchettes, de sondages et constater qu'une idée forte se dégage : l'aléa du mouvement est lui insensible aux conditions initiales.

En météorologie il ne s'agirait plus de prédire s'il fera beau sur la place Saint Sulpice fin mai 2010 mais il devrait être possible de prévoir des moyennes, des fréquences d'évènements météorologiques, avec une bonne précision, en un endroit donné, sur une longue période de temps. Ce type de prédiction est plus modeste, mais il est souvent tout à fait utile.

Le travail des mathématiciens contemporains, et sans doute de demain, est de démontrer cette intuition de Lorenz pour les grands systèmes dynamiques que l'on rencontre dans la nature. Du chemin reste à faire puisque les scientifiques d'aujourd'hui se disputent encore pour savoir si le mouvement de l'atmosphère est sensible aux conditions initiales, car les vraies équations qui régissent le climat sont bien plus complexes que le modèle réduit qui a amené Lorenz à mettre en évidence l'effet papillon.



Attracteur de Lorenz

Il semble donc, qu'en recentrant les ambitions autour de questions de statistiques, même dans un système déterministe, on peut préserver un caractère prédictif à la Science. Du travail pour tous pour les années à venir ! Car bien au delà de l'effet papillon, les idées engendrées et le concept de chaos, né il y a un siècle en mécanique céleste, enrichi de l'exemple de la turbulence dans l'atmosphère, ont envahi une bonne partie des mathématiques. Comme souvent en mathématiques, un exemple est devenu le germe d'une théorie dont l'ambition est de comprendre un champ beaucoup plus vaste qu'on ne le pensait initialement. La théorie des systèmes dynamiques ne se limite pas à la description de l'atmosphère, elle envahit une bonne partie des mathématiques, jusqu'à la théorie des nombres, qui paraît si souvent immuable et statique.

Poincaré nous avait prévenus "*Faire des mathématiques, c'est donner le même nom à des choses différentes.*" Sous le mot chaos se cache désormais des significations diverses bien plus que Poincaré ou Lorenz n'auraient pu l'imaginer.

E.G.

Pour en savoir (un peu) plus

Article illustré, Etienne Ghys sur
<http://images.math.cnrs.fr/Le-moulin-a-eau-de-Lorenz.html>

Article, Etienne. Ghys sur
<http://images.math.cnrs.fr/L-effet-papillon.html>