

Thermodynamique et évolution des observatoires astronomiques

- En 2011, j'ai candidaté au poste de directeur du CFHT alors que je lisais le blog de Francois "Point de Vue d'un Astronome" qui m'a rappelé cette citation:
 - "To my mind there must be, at the bottom of it all, not an equation, but an utterly simple idea. And to me that idea, when we finally discover it, will be so compelling, so inevitable, that we will say to one another, "Oh, how beautiful. How could it have been otherwise?"
- John Archibald Wheeler

- C'est en pensant à cette course aux ELTs (Extremely Large Telescopes) et le rôle des petits télescopes, qu'il m'est apparu des parallèles flagrants entre l'évolution en biologie (en particulier les modes de sélection K et r) et l'histoire récente du développement des observatoires astronomiques.
- Le principe de MEP s'applique aussi à la science dont le but est d'extraire le maximum d'information (sur l'environnement) de l'environnement:
 - Nous essayons de maximiser (internaliser) de l'information ce qui nécessite d'augmenter l'entropie globale (externe).



Godzilla (ゴジラ) is a portmanteau of the Japanese words gorira (ゴリラ, "gorilla"), and kujira (鯨 (クジラ), "whale"), representing the K selection process that CHAOptX is valiantly fighting using small (r selection) telescopes!

Selection r et K

- Étudié par MacArthur & Wilson (1967)
- Sélection K lorsque les ressources (énergie, nourriture, argent) sont abondantes;
 - Le gigantisme est favorisé.
 - Les descendants reçoivent autant d'information que possible (et se spécialisent de plus en plus vis à vis de leur environnement).
 - Ils demandent beaucoup d'énergie, donc peu de descendants et la survie de chaque descendant est crucial.
 - L'échec est découragé, (ou en tout cas, il n'est pas récompensé).
 - État de Stase (stagnation): Les organismes grandissent en s'adaptant de plus en plus à leur environnement pour s'accaparer plus de ressources, au prix de leur résilience.
 - La plus grande girafe a accès aux plus grands arbres, le plus gros lion à plus de viande. Tant que l'environnement est stable et que les ressources sont abondantes, il sont sélectionnés naturellement.

Effet de la reine rouge

- *Now, here, you see, it takes all the running you can do, to keep in the same place.*
(Lewis Carrol "Through the Looking Glass")
- Hypothèse évolutionnaire qui propose que les organismes doivent en permanence s'adapter, évoluer et se multiplier, juste pour survivre face à d'autres organismes (de la même espèce ou pas) en évolution permanente en compétition pour les mêmes ressources
 - Et le plus ils évoluent, le plus ils rétro-agissent et modifient l'environnement (qui peut lui même s'adapter adapt) duquel ils dépendent.
- Ceci explique pourquoi les espèces s'éteignent naturellement.



Sélection r

- Sélection r lorsque les ressources deviennent rares.
 - Sont alors favorisés (sélection naturelle):
 - Des petits organismes,
 - avec des durées de vie courtes.
 - Et beaucoup de descendants,
 - afin de maximiser le potentiel de mutations génétiques
 - et explorer toutes les niches écologiques possibles.
- L'évolution devient instable.
 - Sensibilité aux conditions initiales (forte rétroaction/sélection), très non-linéaire), imprévisible.

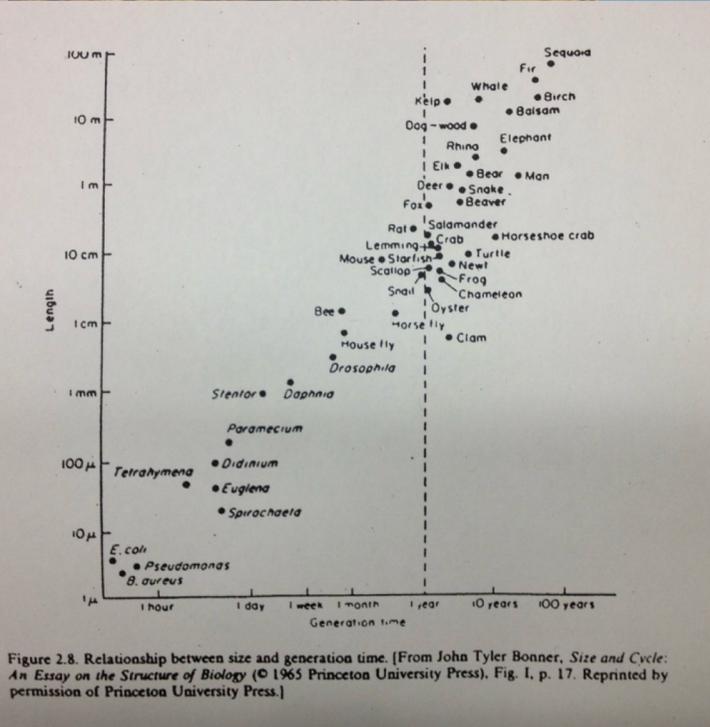
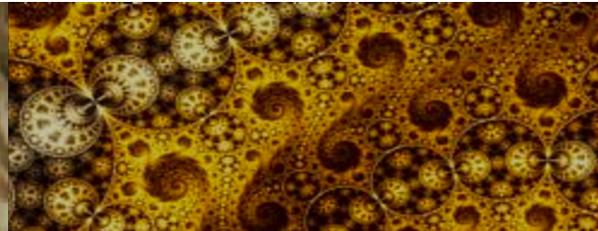


Figure 2.8. Relationship between size and generation time. [From John Tyler Bonner, *Size and Cycle: An Essay on the Structure of Biology* (© 1965 Princeton University Press), Fig. 1, p. 17. Reprinted by permission of Princeton University Press.]

Selection r et K

- Lorsque l'évolution devient imprévisible: de l'information nouvelle est internalisée afin de s'adapter et l'entropie globale augmente.
- La notion d'échec est incorporée dans l'évolution: beaucoup de descendants impliquent que beaucoup ne survivront pas.
 - Échec stratégique. la survie du plus adapté à l'environnement revient à importer de l'information, ce qui peut donner l'impression d'une direction, d'apprendre de ses erreurs, par rétroaction. Cette non-linéarité implique qu'il est impossible de prédire l'état final et permet l'émergence de nouvelles structures ou comportements.
- La sélection r favorise des petits organismes agiles et adaptables.
- Sélection naturelle \rightsquigarrow la mutation la plus adaptée se développera, jusqu'à l'épuisement de ses ressources: Équilibres ponctués.

Punctuated equilibrium

Natural catastrophe,
meteorite, volcanism.

environment changes too quickly for species
to adapt.

Mass extinction
Zipf's Law

Red queen effect:
feedback on environment:
running out of resources.

New species fill out ecological niches
left vacant by extinct species.
fierce competition for resources,
unstable environment,
large population fluctuations

Longer life spans, specialize further
(importing information from environment,
but also reducing ability to adapt).

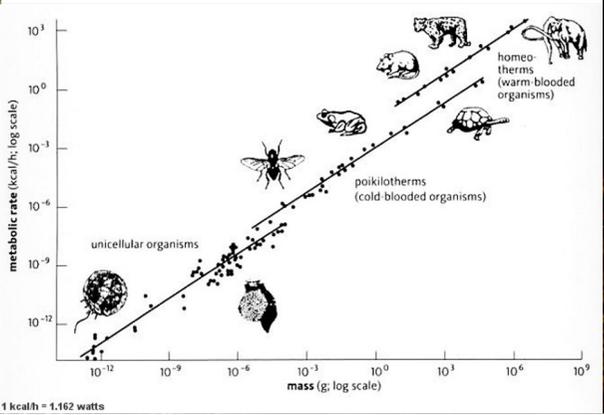
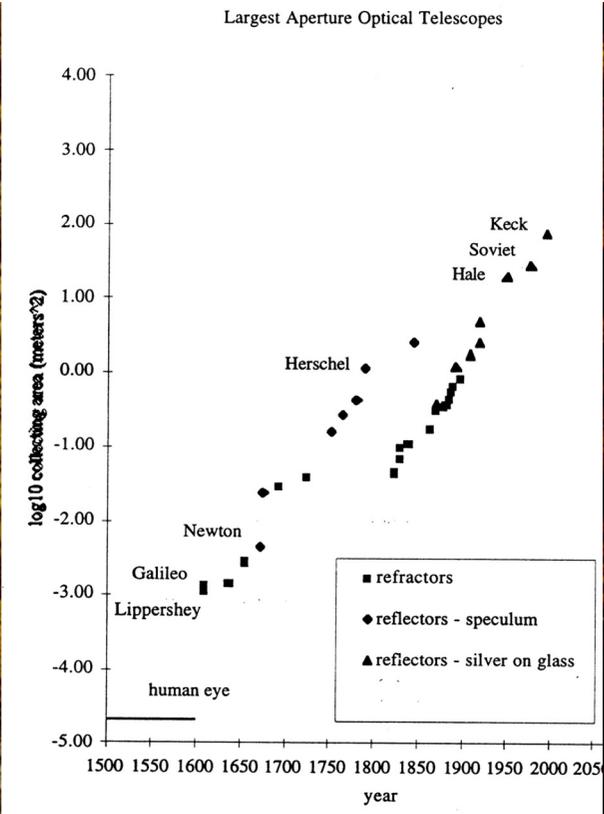
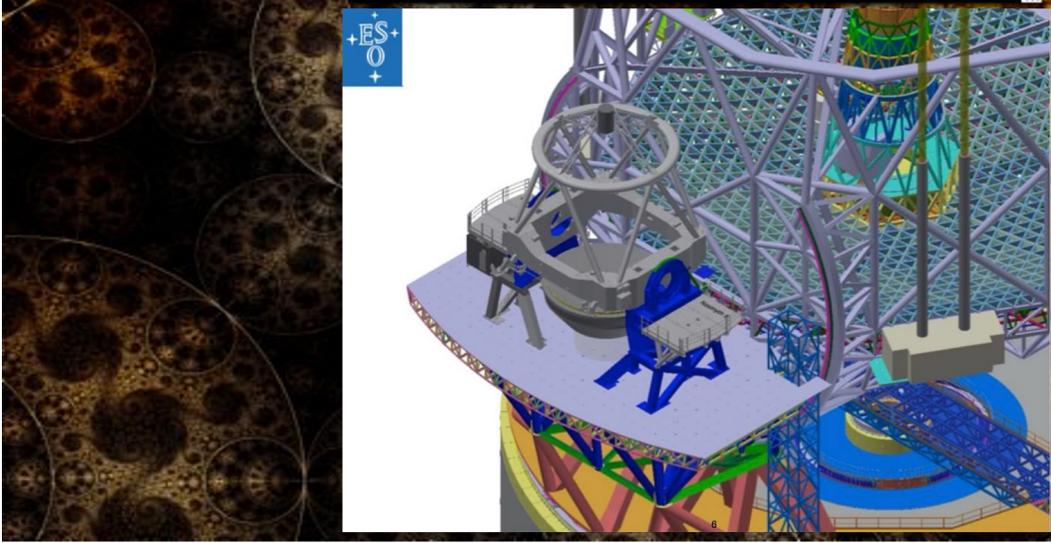
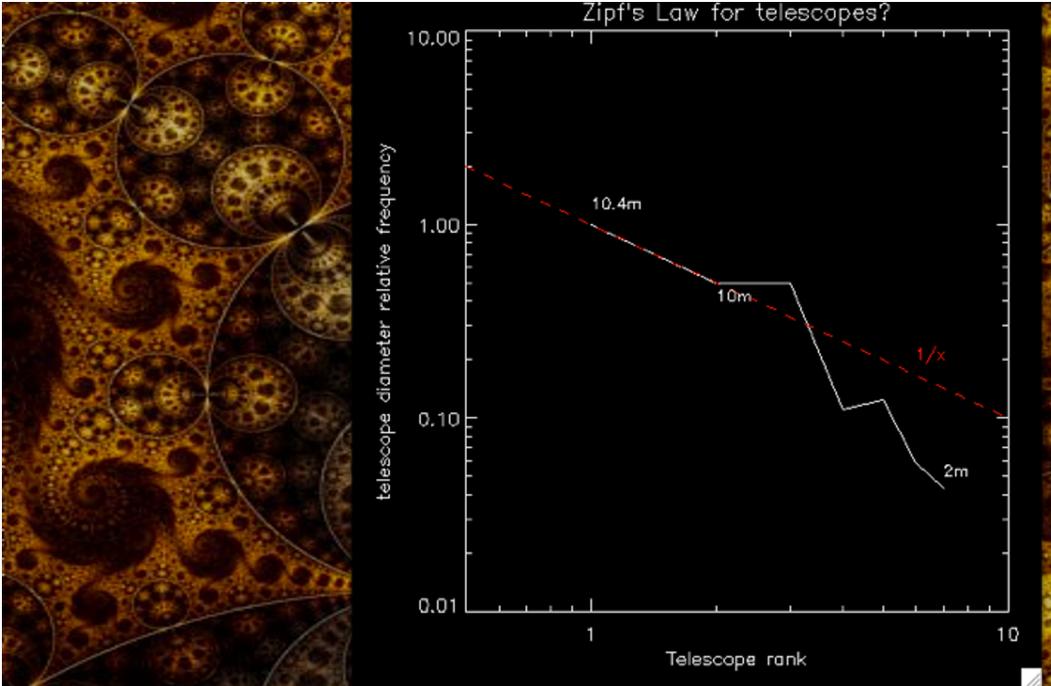
Environment gradually stabilizes,
species most adapted to environment thrive
at expense of others

Growth to increase access to resources against
smaller, weaker species or members of species

System stabilizes. Resources plentiful: Stasis
species evolve slowly when not under pressure

Evolution des observatoires

- Afin de maximiser sa production d'entropie, la communauté astronomique s'est auto-organisée autour d'un point critique.
 - Au cours du 20eme siècle, un point critique autour d'un attracteur étrange s'est développé sous la forme de la technologie.
 - Considérons l'apparition de nouvelles technologies (e.g. CCDs, détecteurs infrarouge, spectro échelle, OA): Loi de Zipf pour les révolutions technologiques?
 - A chaque génération, tous semblables avec de légères différences (recuit simulé). Exploration de toutes les "niches écologiques" possibles, grattant un petit avantage ici ou là: selection r quand une nouvelle technologie apparaît, puis sélection naturelle de la plus adaptée aux circonstances et croissance en processus K (plus grand!)
 - Mais l'état de stase (croissance) et de rétroaction impliquent que la technologie a atteint un point où elle est limitée par les ressources (financières) au 21eme siècle.



Sélection K en astronomie

- Grâce à un financement stable, processus de sélection K: les télescopes ont été en période de stase. Période de croissance.
 - Mais pour diverses raisons, l'environnement (financier) change de plus en plus vite, alors que les projets ne cessent de croître en taille et en coût.
 - Pouvons-nous nous adapter assez rapidement? Est-il judicieux de favoriser des idées basées sur la croissance dans un tel environnement?
- L'effet de la Reine Rouge en astronomie?
 - Bibliométrie (stagflation):
 - "The increasing velocity of the paper number is higher than the speed of light, but there is nothing to worry about for there is no violation of any physical law, because these papers carry no information"
- attributed to Chandrashekhar (Editor of ApJ)

Bifurcations

- Épuisement de notre environnement (besoin de ressources financières toujours plus importantes) : précurseur de la prochaine bifurcation ?
 - Les coûts des télescopes repoussent les limites de ce que les budgets scientifiques nationaux peuvent supporter.
 - Le cycle de développement des télescopes est plus long que les cycles expansion-récession. Impossibilité de s'adapter. (Voir par exemple le TMT/GMT, le CFHT/MSE - qui est à l'origine de toute ma réflexion, et aussi le précédent du SSC en physique des particules)
 - Difficile de planifier (sensibilité aux conditions initiales)
- Télescopes géants: peu de descendants, averse au risque, utilisent des technologies éprouvées, les font simplement plus grandes.

Modèle Économique

- Comment maintenir des activités dynamiques de recherche, créatives et originales, dans un paysage frileux au risque ? (plutôt qu'un financement par mots-clés).
 - Une partie du problème est que nous avons transposé et adopté un modèle économique, basé sur la croissance, à la quête scientifique avec des concepts d'efficacité, de retour sur investissement, de métriques quantitatives mais arbitraire.
 - Basé sur la croyance que la compétition favorise la créativité, les nouvelles idées et les nouvelles solutions.
 - Mais la créativité s'est surtout appliquée à comment jouer le système pour maximiser l'accès aux ressources.
 - Campbell Law of Social Sciences:
"The more any quantitative social indicator is used for social decision-making, the more subject it will be to corruption pressures and the more apt it will be to distort and corrupt the social processes it is intended to monitor."

Un renouveau de paradigme?

- Le financement compétitif d'idées incrémentales mène à l'effet de la Reine Rouge.
 - La sélection K protège ses descendants. Système centralisé avec arbre de décision "top-down" et une aversion au risque. "too big to fail" (JWST).
 - Mais les grands organismes qui ne peuvent pas s'adapter assez rapidement à un environnement changeant finissent par s'éteindre (MSE).
 - En termes de durabilité, il est pourrait être bien utile d'investir dans le processus de sélection r pour la recherche. Après tout, les rongeurs existaient déjà à l'époque des dinosaures...
- Comment appliquer le processus de sélection r à la démarche scientifique ?
 - La sélection en r nécessite beaucoup de petites expériences habiles, dont la plupart seront peut être des échecs (stratégiques) desquels nous pourrions apprendre des choses nouvelles. Cela nécessite une recherche collaborative à échelle humaine
 - Haut facteur de risque et d'imprévisibilité. Mais exploration de toutes les niches écologiques.

Cooperation, altruism, symbiosis, competition

ELT, TMT, GMT, MSE

stasis

K-process

Multicellular organisms are the symbiosis of individual cells

Symbiotic cooperation

Survival of group, Adaptation.
prokaryotes result of symbiotic collaboration of eukaryotes?

ESO

Common genes

Altruistic cooperation
individual variations, Adaptability.

Small independent observatories,
and universities, innovation.

Mutation rate

Competition, r-process

Unstable funding and social environment...
Strategic failure, small experiments, "Small is Beautiful", revolutionary science!

Environmental stability

Small is beautiful

- Une recherche collaborative à échelle humaine?
- Pour paraphraser E.F. Schumacher: Astronomy as if people mattered :-)
 - Le concept de décentralisation de Schumacher est plus complexe que la simple division d'une grande unité en unités plus petites, mais propose l'idée de "smallness within bigness"
 - Pour qu'une grande organisation fonctionne de manière satisfaisante pour ses protagonistes, il faut qu'elle se comporte comme un groupe collaboratif de petites organisations.
- Schumacher propose une solution: "intermediate technology," qui peut être utilisé par tous, avec une productivité plus satisfaisante (≠ maximiser la production par unité de travail fourni) et qui peut permettre de réduire les fractures sociales.
 - Ceci offre des opportunités pour interagir avec la société qui nous finance et nous permet d'exister, par exemple d'entamer un dialogue avec les cultures autochtones qui subissent le pire aspect (colonialisme) de la démarche scientifique (Télescopes sur montagnes sacrées).
 - pour commencer à aborder le fossé sociétal actuel, de méfiance à l'égard de la science et des experts en général (e.g. émergence des platistes au 21^{ème} siècle! méfiance à l'égard des vaccins), signe que nous, scientifiques et académiques, manquons à notre responsabilité, à notre devoir.

Science engagée

- Au bout de compte, nous devons nous demander pourquoi nous faisons de la science et quel est le but de notre quête.
 - Je ne crois pas que les résultats ou les réponses soient prédéterminés.
 - Je ne serais pas surpris si nous continuions à être surpris dans notre compréhension de questions fondamentales au cours de notre vie.
 - Je ne crois pas non plus qu'il existe une seule manière, prédéterminée ou optimale, d'accroître nos connaissances.
- "Somewhere, something incredible is waiting to be known."

-Carl Sagan