



FÉVR.
15

Séminaire pluridisciplinaire Potentiel, Trajectoire, Equilibre : approches.

par Collège International des Sciences
du Territoire (CIST) avec le soutien
de...

Gratuit

. Accueil et Présentation du Séminaire par Charène LENEINDRE

Ce séminaire pluridisciplinaire a été organisé avec le soutien de l'axe Territoire et santé du CIST et de l'UMR espace. Nous sommes ravies de vous accueillir et de discuter avec vous de la manière dont nous mobilisons les notions de potentiel, de trajectoire et d'équilibre dans différentes disciplines. Je suis Chargée de Recherches en géographie à l'IRDES et depuis peu je suis co-responsable de l'axe Territoire et santé du CIST, et donc je vais me permettre de vous en dire quelques mots. Le CIST a été fondé en 2010 avec différents objectifs dont ceux de contribuer à formaliser et organiser le champ interdisciplinaire des sciences du territoire, de fédérer les unités de recherche qui sont dédiées au territoire, et de renforcer le réseau national des équipes qui le composent et leur synergie. Aujourd'hui, c'est devenu une Fédération de Recherche qui est composée de neuf axes de recherche scientifique, dont l'axe Territoire et santé. L'idée de cet axe est de réunir les personnes intéressées par les notions de territoire et de santé quelle que soit leur discipline d'appartenance institutionnelle. L'idée c'est que l'on puisse se rencontrer, échanger et faire des projets ensemble de manière conviviale et pour cela on se réunit environ trois fois par an pour partager des informations et discuter de travaux. On essaie également d'organiser un séminaire thématique à peu près une fois par an, dont celui d'aujourd'hui. L'idée c'est que ces séminaires soient reliés aux trois piliers du CIST qui sont la théorie du territoire et l'interdisciplinarité, l'information géographique, et enfin la demande sociale et citoyenne. Si ce n'est pas déjà le cas et que ce principe et les notions de territoire et de santé vous intéressent, je vous invite vivement à nous rejoindre, pour cela vous pouvez vous inscrire sur le site du CIST. Ne serait-ce que pour suivre les informations qu'on peut diffuser. Je vais passer la parole à Sandra qui est à l'origine de cette journée. Je tiens à remercier chaleureusement tous nos soutiens financiers et humains notamment Nadia Behtani et Marion gentilhomme du CIST. Evidemment nos intervenants pluridisciplinaires, et les personnes présentes. Merci à vous de participer à ces journées. Je vous souhaite un bon séminaire et j'espère que les échanges seront fructueux.

. Introduction par Sandra PEREZ

Et moi je voudrais te remercier parce que Charlène s'est occupée de toute la phase organisationnelle de ce séminaire, un grand merci pour tout cela. Dans cette phase d'introduction, avant le démarrage des présentations, je vais expliquer comment on est arrivé à choisir ces trois notions de potentiel, trajectoire et équilibre.

Donc on avait l'idée d'organiser ce séminaire pluridisciplinaire et on s'est dit que ce serait bien de le construire autour de notions qui soient transdisciplinaires, nous avons donc cherché quelles notions, et nous avons retenues la notion de potentiel, de trajectoire qui mobilise des travaux des géographes de la santé à l'heure actuelle et la notion d'équilibre. Et puis ensuite on s'est dit qu'il fallait en choisir une. Mais, cela n'a pas été possible de discriminer entre les 3, et nous avons donc décidé de conserver ces 3 notions, et cela a eu du sens, beaucoup plus que ce que l'on imaginait car des intervenants les ont traitées ensemble (Eric Aubourg, Jean-Christophe Hamilton & Stéphane Douady) alors qu'on leur avait demandé de se positionner plutôt sur une seule notion. De plus, garder les 3 notions nous permettait de réfléchir à des choses aussi jolies par exemple qu'une trajectoire potentiellement équilibrée...ou bien plus prosaïquement à un potentiel pathogène qui rompt un équilibre (passage de la santé à la maladie) et qui va placer l'individu devenu patient dans une trajectoire de soins.

Si nous considérons la première notion, la notion de potentiel, il y a derrière cette notion quelque chose qui est en puissance, en action, qui est fonction de certaines conditions. Ce sont les physiciens qui ont beaucoup travaillé sur cette notion, avec la question du potentiel thermodynamique, électrique ou bien électromagnétique. Les philosophes l'ont abordé sous l'angle de l'inné et de l'acquis (est ce que le potentiel serait quelque chose d'inné ?), tout comme les psychologues (éducation). Cette notion concerne également les artistes qui peuvent voir à travers un matériau, comme par ex. les veines d'une dalle de marbre un formidable potentiel en vue de la création de sculptures.

Il y a derrière cette notion l'idée d'une énergie en mouvement, une tension, une charge, une capacité de charge, une montée en puissance vers le potentiel, on entend aussi des variations de potentiel, ou a contrario des lignes équipotentielles.

Avec Trajectoire il est question d'un début (état), d'un but (motivation) qui sous-tend le déplacement en vue d'atteindre une arrivée, un autre état, un idéal, un équilibre, un optimum. Cet aspect sera plus particulièrement abordé à travers les interventions de José Halloy, Damienne Provitolo et Nathalie Verdière. Il peut également être question de chemins que l'on va emprunter, d'accessibilité, voire de *walkability*, ou bien encore de *Long life course* (sur la vie entière, en ce qui concerne par ex. l'étude de parcours de vie, ou bien de transitions à certains âges clé de la vie (enfant-adolescent, adolescent-adulte, etc...), Virginie Muniglia et Céline Rothé nous parlerons justement de transitions vers l'âge adulte de jeunes vulnérables et les conséquences que cela peut avoir sur leurs parcours de vie. Il peut également être question de parcours de soins, voire de protocole de soins (*Health pathway*), ou bien encore du devenir de nos sociétés (économistes, assureurs), sans oublier la transmission intergénérationnelle (Marc Bartoli).

Equilibre pose la question de l'optimum, est-ce-que l'équilibre correspond à un optimum ? Rien n'est moins sûr ...et surtout chez les physiciens où la plupart du temps l'équilibre correspond à un minimum. Est-ce que l'équilibre est atteint quand le potentiel est réalisé ? A voir... Dans tous les cas, il peut être question ici de maintien (en équilibre), de continuum, de

durabilité, voire de résilience, et bien entendu d'équilibre stable et instable, statique ou dynamique et ultimement des notions voisines d'équité, égalité, justice, symétrie voire d'harmonie...

Je vous propose de commencer par la notion de potentiel.

Sandra PEREZ. Le potentiel pathogène d'un espace géographique

J'essaie d'appréhender dans mes travaux le lien qui peut exister entre l'environnement et la santé des individus qui vivent dans un environnement particulier. L'environnement étant pris au sens large et recouvrant aussi bien l'exposition à des polluants que le contexte socio-économique. Ce qui m'intéresse c'est en tant que géographe la différenciation spatiale de ce lien, mais aussi le potentiel d'un espace à influencer sur la santé des individus vivant au sein de cet espace. Je vais vous présenter les résultats d'une étude de faisabilité en santé environnementale menée autour de l'étang de Berre menée pour les communes qui constituent le Pays de Martigues : Martigues, Port-de-Bouc et Saint Mître les Remparts. L'idée était de sélectionner des IRIS aux profils différents à la fois en termes d'exposition que de vulnérabilité sociale afin de voir si ces différences pouvaient se traduire au niveau des pathologies rencontrées au sein de ces espaces.

Nous disposons de 23 variables relatives à des polluants fournis par AirPACA en lien avec la pollution rencontrée dans ces communes (origine pétrochimique). Nous avons sélectionné les pathologies reconnues dans la littérature pour être particulièrement en lien avec la pollution de l'air : soit les maladies cardio-vasculaires, les maladies respiratoires, le diabète, les tumeurs de la vessie et les tumeurs rénales. Nous disposons de 23 polluants (21 gaz et 2 particulaires), fournis par Air PACA.

En ce qui concerne les données socio-économiques, nous nous sommes appuyés sur les bases de données infra-communales fournies par l'INSEE lors du dernier recensement de 2012.

Sept variables ont été retenues (nous faisons le choix de ne pas agréger les variables sous la forme d'un indice de défaveur sociale afin d'observer la variabilité de ces 7 variables au sein de nos espaces d'étude :

1. La population des ménages qui a emménagé dans l'IRIS en 2012 depuis plus de 10 ans, cette variable est très utile pour approcher l'exposition des personnes P12_PMEN_ANEM10P.
2. Le nombre de personnes non scolarisées de 15 ans ou plus titulaires d'aucun diplôme P12_NSCOL15P_DIPL0
3. Le nombre de personnes des ménages dont la famille principale est une famille monoparentale C12_PMEN_MENFAMMONO
4. Le nombre de personnes en résidences principales occupées par des locataires P12_NPER_RP_LOC
5. Le nombre de personnes immigrées P12_POP_IMM
6. Le nombre de chômeurs de 15 à 64 ans P12_CHOM1564¹
7. Les revenus médians (2011) RFUCQ211

¹ Variable rapportée ensuite à la population active de 15 à 64 ans de l'IRIS pour avoir un pourcentage plus parlant.

Au total nous disposons de 42 variables, toutes à la même échelle, celle des IRIS. Puis, nous demandons à ce que soit réalisée une analyse statistique de type analyse de sensibilité obtenue par réseaux bayésiens (intelligence artificielle, apprentissage non supervisé). Ce que nous recherchons est la hiérarchisation des facteurs, représentés par les 42 variables, sur chacun de ces trois IRIS test.

Les résultats des analyses de sensibilité révèlent des différenciations nettes en matière de santé entre les 3 différents IRIS. En effet, pour l'IRIS de la Lègue à Port-de-Bouc, les pathologies les plus influentes sont les maladies respiratoires chez les moins de 15 ans, et à part égale le diabète chez les plus de 65 ans et les maladies respiratoires chez les plus de 65 ans, qui nous le savons, sont comme les enfants, particulièrement sensibles à la pollution. Les variables de nature socio-économique sont très influentes (nombre de personnes de 15 ans ou plus non scolarisées ou sans diplômes - 927 ; le taux de chômeurs - 34%, suivies du nombre de locataires et de familles monoparentales). Les premières variables d'origine environnementale qui apparaissent sont l'acide Fluorhydrique (HF) et l'acide Chlorhydrique (HCl), dont les valeurs annuelles sont deux fois plus importantes en comparaison avec l'IRIS Centre de Saint-Mître-les-Remparts pour HCl, et trois fois plus importantes en comparaison des deux autres IRIS pour HF.

Si nous examinons à présent l'IRIS de La Colline à Martigues, la part de chacune des variables est plus faible comparée à Port-de-Bouc, c'est-à-dire qu'il semble y avoir moins de spécificités. La variable la plus importante est le nombre de familles monoparentales (577), mais sa part d'influence n'est que de 33% environ (> 0.3). En ce qui concerne les pathologies, les premières qui apparaissent sont les maladies cardio-vasculaires au-delà de 15 ans, tandis que le DahA (Dibenzo[a,h]anthracène) est le premier polluant à émerger, suivi du benzène, des acides Fluorhydrique et Chlorhydrique observés à Port-de-Bouc, des HAP et de l'indéno[1,2,3-c,d]pyrène (IcdP_g), ils ont tous la même importance dans l'IRIS (12% environ).

Enfin, l'IRIS 101 CENTRE à Saint-Mître-les-Remparts, a un profil différent des précédents tant au niveau des pathologies (deux cas de cancer de la vessie chez les plus de 65 ans en 2015, contre un seul cas pour Port-de-Bouc, et aucun cas à Martigues) que des polluants, où les trois principaux polluants qui sont importants pour cet IRIS sont les PCB, le CO et le SO₂, suivis plus loin du H₂S, et du HCl.

Les pathologies ont été mises au regard de relevés lichéniques réalisés par l'Institut Ecocitoyen et ce afin de lever le facteur de confusion lié au mode de vie des habitants (tabagisme). Il en ressort une qualité de l'air moyenne à faible sur ces espaces.

Pour nous, le potentiel pathogène d'un espace équivaut à la somme des variables influentes sur la santé (polluants, défaveur sociale, etc...) dans le sens de l'«exposome» qui pèsent d'une certaine charge sur la santé des individus, en fonction de leurs interactions et si certaines conditions (de dépassement de seuil, de vulnérabilité) sont réunies. Le potentiel est donc fonction de propriétés intrinsèques (niveau, dangerosité, interactions avec d'autres variables), mais aussi de sa position dans l'espace (proximité de sources polluantes, contexte socio-économique). On espère arriver à terme à élaborer une théorie en santé environnementale (qui en manque cruellement) à partir de laquelle connaissant la charge on pourrait en déduire les pathologies, cela permettrait de se passer de données sanitaires

coûteuses en termes de temps (autorisations CNIL), ce serait une aide précieuse en matière d'aménagement du territoire et de politiques sanitaires.

Marc BARTOLI. Comment notre ADN nous détermine

Nous allons voir ce que la génétique peut apporter à ces notions de potentiel, trajectoire et équilibre.

Notions de base génétique : l'ADN c'est ce qui permet de construire un homo sapiens, il faut 3,2 milliards de briques de base pour cela, on n'a pas beaucoup changé depuis 300000 ans l'ADN s'organise de façon structurée et se retrouve chez tous les êtres vivants de cette planète. Si nous faisons un peu d'histoire de la génétique

C'est Charles Darwin qui est à l'origine de la théorie de l'évolution après un voyage aux Galapagos, il démontre ainsi que tout être vivant dépend d'un autre vivant qui a vécu il y a très longtemps, et avec lequel il partage son code génétique. On doit à Grégoire Mendel le croisement des plusieurs espèces de petits pois. Mais, c'est Hugo Devris qui en redécouvrant les travaux de Mendel, introduit la notion de mutation. Ce n'est qu'il y a 50 ans que l'on a découvert la structure de l'ADN, et le séquençage de celui-ci n'est possible que depuis 2003.

Comment ça marche ? :

L'information génétique est portée par les 23 paires de chromosomes de l'ADN, garçons XY et filles XX c'est Morgan qui découvre l'ADN en 1906 dans les glandes salivaires de drosophiles (mouches du vinaigre) chromosomes géants que l'on est parvenu à détecter avec les microscopes de l'époque qui est composée de 2 brins qui sont complémentaires et anti parallèles avec des bases ATCG complémentaires 2 à 2 G à C, A à T, T à G et T vers A permet de conserver l'info génétique à travers la réplication (c'est là où on apprend qu'une multiplication est une division puisque pour multiplier les cellules à partir du brin mère, on va diviser 2 brins fils qui sont (le plus souvent) la copie conforme du brin parental. Ces lettres ATCG sont l'alphabet, des briques, qui vont permettre de construire des protéines, qui sont des cellules essentielles à tous êtres vivants. Ces lettres sont lues à travers une structure de la cellule qui s'appelle le ribosome, ces lettres vont composer des mots de 3 lettres, tous les mots ne font que 3, cela permet de transmettre l'information les acides nucléiques en acides aminés qui forment les protéines. Voilà un message « un gros chat mange un rat », les mots sont morcelés, on peut donc modifier cette info, en effet, on peut éliminer un mot sans que cela ne change rien, donc à partir du même message génétique l'ordre des mots on peut obtenir plusieurs protéines différentes et donc la diversité de nos cellules qui vont composer 50 000 cellules différentes.

La diversité des cellules est obtenue en utilisant ce code génétique nous sommes 50 000 cellules différentes (foie, peau, foie, cerveau) molécule ADN fait 1,5m de long. Au sein des noyaux on a des territoires on a une régulation particulière potentiel en génétique très importante en génétique stabiliser par rapport aux autres espèces

A l'intérieur du noyau on a cette molécule d'ADN, pendant très longtemps on a cru que cela ressemblait à cela, en fait on a des topologies des territoires dans les noyaux, qui sont compris dans des régions avec des frontières on a 2 domaines qui sont indépendants l'un de l'autre qui vont réguler et c'est réguler par la molécule d'ADN elle-même et par l'environnement la notion de potentiel est très importante en génétique, car l'évolution

permet de faire évoluer l'espace mais surtout de la stabiliser ces variations sont confrontées à l'environnement friction de l'environnement sur la sélection naturelle et notre ADN morte toutes les marques de notre évolution pendant très longtemps on a cru que l'on devait chercher l'info génétique que dans les gènes.

On dit souvent que l'ADN permet de prédire notre avenir, mais en fait non l'ADN nous permet de savoir de savoir d'où on vient. Ainsi, on a longtemps cru que l'on venait de la corne de l'Afrique, mais il semblerait que cela soit de plus haut, de plus proche de la Méditerranée. La génétique en fait nous permet de savoir qui nous sommes. Pendant très longtemps les généticiens se sont intéressés à comment était agencée la séquence l'enchaînement de ces lettres, pour comprendre comment était porté le message génétique. Le coût du séquençage pour un être humain ne cesse de baisser aujourd'hui on peut séquencer le génome 1000 dollars. Les chinois veulent séquencer 1 million de chinois (1% de leur pop).

Trajectoire & ADN cela fait référence aux polymorphismes (différences que l'on trouve dans les populations) ce que l'on retrouve chez les différents peuples permet de comprendre les migrations qui ont permis à l'être humain de coloniser l'ensemble de la planète on sait par où sont passées ces personnes. On s'est rendu compte aussi qu'il y a 5000 ans 6 espèces d'hominidés qui vivaient en même temps *homo sapiens*, *homo rhodesiensis*, *heidelbergensis*, *néandertal*, *denisoviens*, et *homo erectus*. On s'est également aperçu qu'il y avait eu des mélanges au niveau des gènes entre *homo sapiens*, et *néandertal* et c'est *homo sapiens* qui a gagné.

La génétique permet de déterminer à des échelles + fines qui nous sommes au niveau de notre territoire. Ex celtes ont colonisé la Bretagne et en fait les gaulois c'étaient des celtes et même au niveau de la Bretagne là où il y a le plus de mixité c'est autour de la région de Nantes, il y a des différences entre ceux qui sont de Nantes car il y a eu beaucoup d'échanges. Et en fait si quelqu'un vient de Bretagne se faire soigner à Marseille pour une maladie génétique on va pouvoir retrouver ces variations génétiques et penser qu'elles sont responsables de sa pathologie Polymorphismes différences migrations variations spécifiques variations délétère si potentiel génétique n'est pas diversifié (consanguinité dans certains territoires pour ne pas partager la terre, ou bien des territoires isolés) il va se retourner contre nous. Potentiel HFE gène qui permet de fixer plus d'Oxygène (sportifs). Notre patrimoine génétique peut limiter notre champ des possibles. 12 millions de personnes ont fait à ce jour analyser dans le monde leur ADN (prédisposition pathologies). Pour revenir sur la notion de trajectoire, il y a derrière l'idée de direction et de trace.

Trajectoire : ADN nous donne la direction vers laquelle on va aller, champ des possibles trace chemin que nous laissons ADN chemin, que nous avons fait depuis *homo sapiens* la séquence nous donne le chemin des possibles là où on peut aller, tout cela peut être en mis en parallèle avec les mutations et les anomalies génétiques, et là on atteint pour paraphraser Edgar Morin « la complexité de la complexité ». Les mutations responsables d'anomalies, comment les détecter et comment cela va jouer sur les maladies ? Est-ce que l'on est au début ou à la fin des mutations (infinies) ou on arrive à un plateau ? Avant on pensait que les maladies étaient monogéniques (faute à Mendel). Or, chaque être humain est porteur de tas d'anomalies génétiques, mais laquelle est responsable des 50 mutations rares ou que chez notre famille et 20 il peut y avoir des mutations présentes que chez nous

et qui ne sont pas forcément agencées pour produire une maladie. Digénisme, voire multigénisme => complexités 20 000 possibilités. Avant 1 mutation => 1 maladie, en fait c'est plus complexe une mutation n'engendre pas forcément une maladie, 1 même gène peut engendrer 2 maladies différentes et une mutation peut être responsable indirectement d'une autre maladie à longue distance, de manière très indirecte. Les maladies rares concernent plus de 3 millions de personnes en France, c'est plus que les cas de cancers et les maladies cardiovasculaires, pourtant on en parle moins alors qu'elles peuvent être très invalidantes. Les Réseaux sociaux sont une aide précieuse dans la compréhension de ces maladies car qui mieux que le patient peut nous renseigner sur l'impact de sa maladie sur sa qualité de vie et sur ce qu'il ressent ?

Questions :

Cyril Drouot -Est-ce que c'est notre ADN qui détermine l'homme ?

-Réponse : non ce qui fait l'homme c'est bien plus que notre patrimoine génétique ou la somme d'éléments organiques. En fait, notre patrimoine génétique va ouvrir ou non un champ des possibles.

Fabrice Decoupigny -Que sera la société dans 10 ou 15 ans quand on aura défini grâce à la puissance de nos modélisations un potentiel social, environnemental, génétique, quelles conséquences avec des assureurs, des banquiers etc... ?

-Réponse : C'est la raison pour laquelle on essaye de ne donner un diagnostic qu'à des personnes qui en ont la nécessité (maladies génétiques). Le risque c'est aussi de déterminer des sous-pop par rapport à l'ensemble des humains, de discriminer par rapport au patrimoine génétique, ça c'est une erreur car comme je l'ai déjà dit, le patrimoine génétique nous dit d'où on vient et par rapport à notre trajectoire future c'est à l'être humain de s'emparer du champ des possibles. Ce n'est pas parce que l'on n'a pas le même potentiel au départ que l'on ne peut pas réaliser les mêmes choses, on mettra peut-être plus de temps, c'est tout. En plus, c'est foncièrement injuste car le patrimoine génétique c'est nos parents qui nous l'ont donné, on n'y est pour rien.

José HALLOY. Equilibres et trajectoires dans les modèles mathématiques décrivant les comportements collectifs animaux

Ce que je vais vous présenter est à l'interface entre physique et comportement cognitif chez divers animaux, des trajectoires il y en a des équilibres ça se discute.

Le 1^{er} exemple le plus classique que je vais prendre c'est une colonie des fourmis, les fourmis sont libres de sortir de leur nid pour aller chercher de la nourriture via 2 chemins équivalents (1 pont qui se sépare en 2 branches équivalentes). Ce que l'on constate c'est qu'au bout d'un certain temps, le flux de fourmis se stabilise sur une certaine branche, donc les fourmis ont choisi 1 des branches alors qu'à priori il n'y a pas de raisons qu'ils en choisissent une particulière). Si on répète cette expérience de manière aléatoire on remarque que les fourmis vont choisir tantôt la branche du bas, tantôt la branche du haut mais dans tous les cas elles vont en choisir 1. Après on a fait des variantes où on a changé la longueur ou la largeur des chemins et on a constaté qu'à chaque fois le flux de fourmis s'adapte (chemin court ou chemin large). Une fois que les fourmis ont choisi un chemin, elles ne changent pas, on arrive à un équilibre pas au sens bien entendu de la thermodynamique, ça s'établit pour cette espèce de fourmis au bout de 10 min. Le système est figé.

But comprendre la dynamique d'établissement du choix d'une branche. Equation :

La Probabilité de choisir 1 branche est proportionnelle au nombre de fourmis qui sont passées, il s'agit d'une fonction non linéaire, qui a une forme sigmoïdale.

Donc les fourmis n'ont pas une vue globale du chemin qui est court ou plus long, mais elles y répondent de manière locale.

Si on change l'espèce de fourmis ex fourmis d'Argentine (espèce invasive dans le sud de la France), ça marche aussi, ces fourmis choisissent également un chemin en fonction du marquage chimique des phéromones de leurs consœurs qui les ont précédées.

On peut implémenter cela aussi pour des robots.

On refait l'expérience avec des cafards (insectes nocturnes qui n'aiment pas la lumière). On leur propose 2 îlots (disques) qui flottent la lumière est intense est ce qu'il y a une répartition remarquable de ces cafards, et si la réponse est positive, selon quels mécanismes sous-jacents et peut-on modéliser les mécanismes ?

Equation : Bilan évolution au cours du temps du nombre de cafards sous un abri ;

Il y a 2 termes, le terme de gauche nous donne la probabilité pour qu'1 cafard trouve 1 abri Et le terme de droite nous donne la probabilité pour que le cafard sorte de cet abri. Le terme de droite est à nouveau une fonction non linéaire avec un exposant >1 fonction sigmoïdale et c'est là que se place toute l'intelligence du système, c'est parce que l'on a cette fonction sigmoïdale que les cafards vont se répartir de manière remarquable.

Hypothèses : les cafards ne savent pas combien de cafards il y a dans le système, ni combien il y a d'îlots a priori, la seule chose qu'ils font ils se baladent au hasard et ils choisissent de se mettre à l'ombre parce qu'ils ont une préférence pour l'ombre et ils décident de quitter cet endroit ou pas en fonction d'un certain seuil de congénères, plus il y a de congénères et moins ils ont envie de sortir et ils restent à cet endroit-là. Vous remarquerez que les trajectoires ont par rapport aux fourmis ont disparu, ça ce n'est qu'une équation technique différentielle, l'espace a été discrétisé dans ces boîtes, là l'espace n'est pas intéressant (la phase exploratoire des trajectoires n'est pas intéressante pour répondre à la question, par contre, ce système non linéaire va faire que le groupe de cafards va faire des choix intéressants, donc on va résoudre ces équations et on va obtenir des états stationnaires. Les états stationnaires c'est ce que je vous ai expliqué tout à l'heure avec les fourmis (le choix des branches).

Soit la courbe en gras qui donne un état stationnaire qui est considéré comme stable, tandis que la courbe fine donne un état stationnaire qui est considéré comme instable (stable on reste ; instable on a tendance à ne pas y rester). Vous voyez que quand on fait changer la taille des abris, ou le nombre de cafards ou les 2 en même temps à partir d'un certain point que l'on appelle : point de bifurcation 3 solutions apparaissent au lieu d'1 seule. La branche du haut qui est stable, la branche intermédiaire qui est instable et la branche du bas qui est stable. Avec 2 abris. La solution c'est que, ici, les cafards remplissent au maximum la place disponible, ils n'ont pas le choix, il n'y a pas assez de place pour tout le monde, donc ils remplissent au maximum ces abris, puis arrive un moment où il y a de la place pour mettre tout le monde dans les abris et là ils se répartissent 50-50. On pourrait imaginer qu'avec une

seul abri les cafards se grouperait au maximum puis avec une seconde boîte ils se répartiraient 90-10 ou 80-20 (selon une loi de Pareto). Mais non ce n'est pas ce que les cafards font. Quand il y a la place pour mettre tout le groupe sous un seul abri, les cafards vont par ex. choisir celui de gauche et il n'y aura personne dans celui de droite et vice-versa. Les cafards sont des animaux grégaires ils ont envie d'être ensemble pour toute une série de raisons physiologiques et autres. La seule chose qui change c'est soit la taille des abris, soit le nombre des abris, soit le nombre de cafards, mais en aucun cas leur comportement. Le modèle dit qu'à comportement constant si on change leur environnement, alors on a ces solutions.

Si on change là encore d'espèces de cafards (là, ce sont des cafards germaniques que l'on trouve chez nous, et qui sont plus petits) c'est la même chose, à chaque fois, ce sont des répartitions remarquables 100 (1 abri), 50-50 (2 abris) 1/3, 1/3 1/3 (3 abris).

A la fin de l'état exploratoire émerge cette solution car il y a cette amplification, l'équation de la fourmi c'est une boucle de rétroaction positive de forme sigmoïdale si je sens de la phéromone j'ajoute la mienne et je viens renforcer le signal. Ici vous avez aussi une boucle de rétroaction positive, voire moins car techniquement c'est un terme d'inhibition sur un terme de sortie, donc moins et moins ça fait plus. Donc le terme d'inhibition c'est quand il y a plein de copains j'ai tendance à y rester. Donc si vous avez une boucle d'amplification avec une forme non linéaire vous avez les conditions nécessaires mais pas suffisantes pour avoir l'existence d'états stationnaires multiples qui correspondent aux choix qui ont été faites pour les animaux.

On peut essayer de construire des robots cafards (on peut leur faire faire les mêmes choix des cafards en question, donc ce modèle est suffisant pour capturer la dynamique de choix collectifs).

On change d'animaux, on passe aux poussins, il y a un autre robot qui est la poule, là il n'y a pas d'état stationnaire on garde le mouvement mais la trajectoire du robot est connue c'est un stimulus contrôlé, qui va durer environ 30 mn durant lesquelles les poussins vont le suivre. La question est ce que le poussin suit la maman poule, dans ce cas oui, la trajectoire du poussin est corrélée avec celle du robot, je peux calculer sa vitesse, la distance par rapport à la maman poule (robot), ses accélérations, etc...Le but est de comprendre le comportement des poussins on utilise des techniques d'analyse de données, de segmentation, il y en a plein, là ce sont des arbres de décision, on établit une série de comportements (ils peuvent ainsi rentrer dans le robot, tourner autour, se mettre devant, comme pour lui dire au bout d'un moment « tu n'as pas envie de t'arrêter là », s'arrêter, et laisser filer le robot, puis le suivre à nouveau etc.. On peut donc segmenter la trajectoire du poussin en comportements. Donc là il n'y a pas d'état stationnaire de voir si on pouvait découper la trajectoire en comportements.

On passe aux poissons, là c'est la trajectoire d'un poisson dans un aquarium carré, avec 4 autres poissons, la question c'est comment je fais pour passer de cette trajectoire à des comportements ou retirer le maximum d'informations possibles sur mon système (il s'agit là dans le cas des poissons d'une recherche en cours, les précédents exemples d'animaux sont des cas résolus, mais celui-là est en cours). Alors les physiciens peuvent écrire des équations qui décrivent l'évolution de la vitesse (angulaire) de ces poissons et ces poissons sont considérés comme réagissant à un champ de forces (champ de force d'interaction soit avec les parois de l'aquarium soit avec les autres poissons, on peut faire des changements de

phase dans les structures des poissons, c'est très intéressant, mais nous ce qui nous intéresse c'est que le poisson il a un cerveau, certes il n'a pas de cortex, donc ce n'est pas une particule qui est soumise à un champ de force, il a une sorte de libre arbitre et il peut choisir ce qu'il veut faire et il le fait car ce sont des comportements stochastiques, des comportements aléatoires. Donc ce qui m'intéresse c'est comment se fait le traitement de l'information du poisson à 2D en considérant que la seule chose qui l'intéresse c'est de rester en groupe et donc de percevoir ses voisins. On utilise là des techniques de réseaux de neurones artificiels où on a seulement comme information la trajectoire comme info expérimentale et des connaissances biologiques des poissons, et où on a $X, Y(t) \cdot N$ le nombre de poissons. On lui réinvente une sorte de rétine, on lui réinvente une série de couches de RN (multicouches) et à la fin on lui réinjecte les données expérimentales qui vont être, analysées, calibrées par le RN et à la fin on choisit une direction et une vitesse. Mais ça ne marche pas bien, c'est assez compliqué avec les RN classiques. Les réseaux de neurones (perceptron multicouches simple) captent bien le fait que les poissons se baladent le long des parois. Le perceptron multi-couches, avec plus de couches capte bien le fait que les poissons se baladent dans l'aquarium. Si on fait de la convolution temporelle on arrive bien à capter ce qui se passe le long des parois et le fait qu'ils se baladent au centre de l'aquarium, mais on voit que cela reste quand même différent de ce que l'on voit des données expérimentales. Techniquement, les RN, ou le *deep learning* sont des systèmes déterministes, or le poisson il n'est pas déterministe, il a une composante aléatoire, donc ce *deep learning* ne capture pas bien le comportement aléatoire des poissons et donc pour le moment on est en train de tester d'autres RN de type probabiliste que l'on appelle une machine de Godsman ou une combinaison de ce type de réseaux. La question étant quelle méthode je dois mettre en place pour à partir des données expérimentales $X, Y(t)$ générer des trajectoires réalistes du point de vue biologique. Le but du jeu après c'est que je peux fabriquer après un robot poisson et à partir du moment où j'ai ce modèle je l'implante dans le robot poisson et le robot poisson se comporte le poisson. Voilà les questions que nous nous posons en termes de modélisation de comportements collectifs. Pourquoi des RN parce qu'il y a un intérêt lié aux neurosciences, mais surtout c'est parce qu'avec les RN les calibrations se font sur les données expérimentales qui sont sinon difficiles à faire.

Damienne PROVITOLLO, Nathalie VERDIERE. Une recherche transdisciplinaire pour comprendre les comportements humains lors de catastrophes : de l'observation à la modélisation mathématique

Eric AUBOURG. Potentiels, trajectoires chaotiques, et stabilité des équilibres

Je vais explorer ces notions de potentiel, trajectoire et équilibre du point de vue d'un physicien.

Trajectoire ensemble des lieux occupés par un point, un objet, qui se déplace. Trajectoire chaotique lorsque l'on a deux objets qui sont quasiment au même endroit avec la même vitesse, soit ils ont des

trajectoires qui vont rester très proches, soit les trajectoires vont être très différentes alors que l'on a changé juste un peu les conditions initiales et ça, ce sont des trajectoires chaotiques.

Equilibre il peut être stable ou instable c'est-à-dire que si je pousse un petit peu un objet soit il revient à sa position c'est un équilibre stable, soit il s'en va loin et c'est un équilibre instable.

Un potentiel en physique, je peux passer l'énergie pour vous l'expliquer : quand je pousse un objet il va accélérer va prendre une énergie cinétique $l_{min} l_v$ l'énergie que je lui applique c'est de la force * la distance. il y a certaines forces notamment les forces conservatives dont le travail ne dépend pas de la trajectoire par exemple la force de pesanteur, les forces électrostatiques, les forces d'arc, l'énergie apportée ne dépend que du point de départ et du point d'arrivée (énergie conservative), je peux donc associer l'énergie potentielle au point de départ au point d'arrivée et en fait je vais appeler énergie mécanique la somme des 2, dans une force conservative ça va être inchangé, et je vais avoir en fait, transfert entre de l'énergie potentielle qui est liée à la position et de l'énergie cinétique (je fais tomber une balle elle a une certaine énergie potentielle, elle perd de l'énergie potentielle en tombant, et elle gagne de l'énergie cinétique, et la somme des 2 est conservée. Je définis donc l'énergie potentielle qui est là de par la position de l'objet et qui va pouvoir être transformée en énergie cinétique, mais j'ai dit que j'allais définir ce que c'était un potentiel c'est-à-dire que pour certaines forces (pesanteur, électrostatique) l'énergie potentielle elle est proportionnelle à une certaine quantité intrinsèque à l'objet : la masse pour la gravitation ou bien la charge pour l'électrostatique donc si j'enlève cette masse intrinsèque à l'objet, il me reste quelque chose qui ne dépend pas de l'objet, il me reste quelqu'un qui ne dépend que de la position spatiale, c'est ça que nous allons appeler potentiel, c'est un nombre qui ne dépend que de sa position dans l'espace et qui va avoir toutes les propriétés que je viens de citer. Bien entendu je simplifie beaucoup la notion de potentiel mais ça vous donne une idée de ce que c'est. Par exemple quand je prends un ressort il a une certaine énergie potentielle qui quand il va se détendre va être transformée en énergie cinétique. Donc potentiel en physique force appliquée à un objet ne dépend que du point d'arrivée et du point de départ. Donc ça va être un outil intéressant pour calculer des trajectoires et déterminer des positions d'équilibre. En effet, si j'ai un potentiel qui est un minimum (équilibre stable), s'il est sur un max de potentiel il va s'en écarter lien étroit entre potentiel et équilibre et puis mathématiquement on va pouvoir utiliser des potentiels pour calculer des trajectoires. Pour illustrer cela le lien entre équilibre et extremum de potentiel là j'ai un pendule la position d'équilibre est un potentiel, si je m'en écarte elle a tendance à y revenir, j'ai un paramètre qui est l'angle le minimum qui est la verticale et c'est une position stable si j'ai un point d'accroche ici et que je le mets à l'envers, si je ne bouge pas il va rester là mais c'est un équilibre instable mais si je souffle ça tombe. Comment on peut faire pour que la position d'un pendule inversé soit stable ? C'est ce que font les jongleurs en jouant un peu avec la main mais c'est actif (contrôle commande, ils bougent la main de façon à capter le mouvement et à revenir en arrière on peut faire des robots qui vont faire ça ils vont mesurer la position de la tige et ils vont bouger pour maintenir la tige. Mais je peux faire ça si j'arrive à modifier légèrement la forme de mon potentiel pour au lieu d'avoir un maximum de potentiel j'ai un minimum ça va être stable, je peux faire ça simplement : scie sauteuse.

Donc voici un pendule position d'équilibre stable la scie sauteuse fait osciller le pendule j'ai modifié le potentiel en apportant une force supplémentaire vous voyez que c'est stable et si je pousse un peu sur les côtés ça oscille. Il y a un seul paramètre : Produit de la fréquence d'oscillation par l'amplitude d'oscillation. Je peux regarder comment évolue le potentiel quand je modifie ce paramètre. Là j'ai un

minimum d'origine et j'ai un max quand je suis sur le haut et à partir d'une certaine valeur (seuil) de ce paramètre je crée un creux. Quand j'allume la scie sauteuse je déforme le potentiel j'ai une position d'équilibre stable à la verticale et en fait j'ai 2 positions d'équilibre instable de part et d'autre. Ce genre de choses stabiliser avec un mouvement alternatif c'est utilisé dans un accélérateur de particules. Dans un accélérateur de particules chargées ont tendance à se repousser dans le faisceau et elles ont tendance à interagir avec l'air résiduel dans le tube à vide et donc le faisceau assez rapidement il diverge, on va donc utiliser des aimants quadripôles qui sont mis de manière à créer un courant alternatif et donc des oscillations très rapides, et le faisceau converge et les particules gagnent de la vitesse, donc on stabilise par un champ alternatif. Le fait de déformer des potentiels, ce sont des brisures de symétrie boson de X phénomènes qui donnent naissance à la masse on a des potentiels qui sont à 0 et en changeant ce potentiel on a une brisure de symétrie et on va avoir des positions d'équilibre qui ne sont plus à 0 mais qui sont à des valeurs différentes. On a beaucoup d'exemples en physique fondamentale où on modifie un potentiel et où on va déplacer ou stabiliser un équilibre.

Revenons à trajectoire, je prends un potentiel gravitationnel je prends une grosse étoile, elle ne bouge pas et j'en mets une autre à côté le potentiel gravitationnel il est en $-1/R^2$ il dépend donc de la distance entre les 2, on accélère quand on est plus près, on ralentit quand on est plus loin, et puis ça accélère car on a toujours cette somme entre l'énergie potentielle et l'énergie cinétique qui est constante, donc plus d'énergie potentielle moins d'énergie cinétique ça ce sont les orbites des planètes depuis Kepler on sait que ces orbites sont des ellipses, on repasse toujours au même endroit. Mais avec des potentiels à peine plus compliqués on peut avoir des trajectoires bizarres je mets 2 masses fixes et je fais déplacer une particule, le potentiel c'est la somme des deux $1/R$ et vous voyez que la trajectoire devient plus complexe et je peux avoir des trajectoires qui divergent si j'ai des positions de départ un peu différentes. Donc on n'est pas encore tout à fait dans des trajectoires chaotiques mais on n'en est pas loin. Là j'ai un peu triché car les planètes je les ai mises fixes. En astrophysique si je mets 3 corps ça ne se calcule pas aussi automatiquement les trajectoires sont de suite plus complexifiées. Donc avec des potentiels assez simples si je modifie un peu les conditions initiales je peux avoir des trajectoires très différentes.

Si je reviens au pendule, au lieu de faire 1 pendule j'en mets 2 accrochés l'un à l'autre, c'est un système a priori simple je suis dans un potentiel gravitationnel je regarde la trajectoire du point qui est au bout du pendule j'ai un équilibre stable où les 2 sont alignés ça se balance mais on ne revient pas toujours au même endroit. J'ai conservation de l'énergie, l'énergie potentielle est conservée mais cette trajectoire est chaotique. Si j'ai cette fois 2 pendules doubles je change juste d'1 degré l'angle donc 2 pendules identiques avec des conditions initiales à peine différentes et où les trajectoires deviennent chaotiques dans toutes les disciplines on a des tas d'ex de cela dès que l'on aborde la dynamique du système.

Prenons un article d'actualité (Tesla lancée sur une orbite héliocentrique) où va-t-elle dans 1 million d'années est ce qu'elle va retomber sur la terre, elle a 6 % de chances de retomber sur la terre et 2,5% de chance sur Vénus, mais on ne peut pas dire plus que ça. L'orbite de la voiture est perturbée par les autres planètes et ça c'est difficile de prévoir, plus le temps s'écoule et plus les trajectoires sont impossibles à définir. Des simulations ont été faites Pour chaque fois 1 millionième, sur quelques années ça ne change rien mais les orbites sur du temps plus long ça diverge comme ce sont des trajectoires chaotiques, et comme on ne peut pas mesurer pour l'instant mieux qu'au

millionième on ne peut pas les prévoir (exemple des corps astéroïdes qui pourraient retomber sur la terre).

Questions :

-C'est beaucoup 6%

-Oui et plus le temps augmente et plus la probabilité augmente, mais on ne sera pas là pour le voir le prochain passage près de la terre c'est 2091.

-Donc si je veux prédire la trajectoire d'un individu par exemple dans un parcours de santé, je ne peux pas faire de modèle car ça change beaucoup ?

-Vous pouvez faire des modèles probabilistes mais pas déterministes comme là, c'est un peu comme en génétique, on pourra dire comme vous avez telle mutation sur tel gène vous avez le problème de développer sur 25-30 ans telle maladie

- Je veux revenir sur le potentiel pour aller à l'encontre de la force conservatrice il faut beaucoup d'énergie ?

-Non on n'a pas beaucoup d'énergie là on a ajouté une force supplémentaire (oscillante)

-parce qu'en tant que géographe urbaniste ça m'intéresse en effet dans un système métropolitain on regarde l'apparition possible de plusieurs centres si certains centres sont plus stables que d'autres en fonction de seuils qui sont liés à des contraintes de budgets temps et donc on réfléchit sur l'introduction de nouvelles contraintes

-oui effectivement on peut présenter cela de cette façon et modifier un potentiel (nouvelles contraintes) peut créer un nouvel attracteur quelque part et on change l'équilibre de la ville.

-Eric, je crois que la pluridisciplinarité est quelque chose d'important pour vous et que vous jetez des ponts entre des disciplines qui peuvent sembler assez éloignées, Est-ce que vous pouvez nous parler des autres travaux que vous menez notamment sur l'Égypte ancienne

Oui j'ai mené par le passé des travaux en Archéoastronomie, par exemple sur le fait que les égyptiens alignaient certains de leurs temples sur des levers d'étoiles, notamment sur des levers de Sirius, et donc on a contribué à dater certaines fondations de temples.

Actuellement, un sujet qui m'intéresse particulièrement c'est l'utilisation de méthodes bayésiennes que l'on utilise en cosmologie qui à la datation absolue en Égypte ancienne on essaye de construire un modèle probabiliste à dire d'experts sur la chronologie de différents pharaon car on n'a que des chronologies relatives de dates accrochées à les unes aux autres avec quelques fois des indications astronomiques qui sont assez pratiques car là on a un ancrage absolue (7 levers de Sirius, quelques mentions de nouvelles lunes peu d'éclipses malheureusement, après on a des infos textuelles (tel pharaon a fait quelque chose 20 ans après son règne donc on sait qu'il a régné 20 ans, après on a des datations au radiocarbone 14 mais qui elles aussi sont probabilistes car dépendantes de la fabrication du carbone 14 dans la haute atmosphère donc on travaille sur des densités de

probabilités. Donc on essaye de modéliser ces probabilités à dire d'experts (élicitation) à l'aide d'un modèle bayésien.

Virginie MUNIGLIA, Céline ROTHE. Etudier les transitions vers l'âge adulte des jeunes vulnérables

On va vous parler uniquement de la notion de trajectoire, on fait de la sociologie uniquement qualitative on va vous donner un aperçu de cette notion là que l'on utilise en socio. Ce concept existe depuis les années 60, on parle ici de la dimension subjective des trajectoires des individus, pour comprendre leur vie par ex l'apparition de troubles psychiques et l'impact que cela peut avoir sur la trajectoire des individus, Virginie est plus sur l'absence de soutien familial dans ces phases de transition vers l'âge adulte donc l'idée c'est d'étudier ce cheminement temporel. Critique notion de trajectoire déterminisme social (Bourdieu), l'environnement dans lequel ils sont nés, le poids de l'origine sociale sur la trajectoire des individus. Même si les individus en ont conscience ce n'est pas pour autant qu'ils vont pouvoir s'en émanciper. Trajectoire est associée au concept Idée de la carrière dans l'école de Chicago carrière de déviance c'est analyser pas seulement la trajectoire de l'individu dans son cheminement mais prendre en compte tout ce qui se passe autour de lui, il chemine avec des interactions qui vont avoir des incidences sur son cheminement (un peu comme les interactions avec les étoiles vu précédemment). Muriel Darmon a étudié le cheminement de vie des personnes anorexiques dans son livre « devenir anorexique » et elle explique justement la capacité des individus à se saisir de tout ce qui leur est imposé pour déterminer leur propre trajectoire. D'autres sociologues préfèrent l'idée de parcours pour justement alléger le poids du déterminisme présent dans trajectoire (où l'individu selon eux ne peut pas être comparé à une particule qui serait lancé selon une trajectoire balistique), mais l'individu va être consacré à des choix ou à des événements soudains ou l'individu peut bifurquer (sociologie de l'évènement, crise, tensions qui doivent être déterminés) différents des carrefours normés (après le bac etc...).

Il y a des méthodes spécifiques qui sont utilisés rétrospectifs récits de vie (entretiens longs) pour revenir la façon dont ils ont vécu certains événements et où la subjectivité va pouvoir s'exprimer. Je vais vous présenter les Enjeux d'une recherche qui est actuellement en cours liée à des personnes qui sont confrontées à un trouble psychique (entre 16 et 30 ans) et cela va percuter les normes de transition du jeune vers l'âge adulte, cela impacte tout son entourage. Il va y avoir des négociations avec le soin, avec le monde scolaire qui essaye de raccrocher le jeune avec sa trajectoire scolaire, et puis plus largement une négociation autour de la norme et la définition de soi quand on sort du carrefour et que l'on est « ailleurs », comment on renégocie avec la norme et la définition de soi. Entretien de type compréhensifs avec professionnels qui ont en charge ces jeunes qui ont des troubles psy et on a cherché à rencontrer les jeunes eux même pourquoi ces négociations en essayant de comprendre leurs cheminements idée c'est de saisir les variables qui vont orienter les parcours sachant qu'il y a de multi-causalités qui ne sont pas au même niveau de la hiérarchie, et comment les hiérarchiser.

Echec scolaire Premier guichet d'entrée CIO, ou orienter directement vers le soin en psychiatrie. Cela n'engage pas de la même manière plus largement normes sociales passage âge adulte en France qui valorise linéarité parcours et pas la réversibilité ni l'interruption plus poids social du parcours idée

c'est de rationaliser les acteurs, leur subjectivité comment ils pensent ce qui arrive quel rapport ils ont au diagnostic à la psychiatrie ils ont à l'école que ce soit les jeunes ou leurs parents et comment ils perçoivent l'adulte qu'ils vont devenir et comment aller évoluer ces perceptions.

Risques. Nous allons voir 3 types de parcours pour ces jeunes en difficultés. Le diagnostic posé oriente très fortement la suite du parcours de ces jeunes qui vont avoir des troubles très rapidement, avec une reconnaissance du handicap (psychose), qui vont être pris en charge (problème du diagnostic précoce, qui permet de mieux soigner mais qui ferme le nombre de possibilités), poids des difficultés sociales des jeunes hospitalisations des jeunes dont certains peuvent être hospitalisés longtemps sans interruption alors que d'autres à trouble similaire ne vont pas l'être. Cela pose la question est ce que les parcours de soin sont véritablement des parcours de soin ou bien est ce qu'il n'y a pas des stratégies de protection sociale pour la famille. Le second parcours ce sont des jeunes qui ont eu des prises en charges sociales longues dans des structures à un moment donné, ils ont des difficultés à l'école, ils vont quitter l'école, y revenir, rien ne va marcher, ils vont être déscolarisés, ils vont être en grande difficulté pour s'insérer, ils vont être dans des parcours déviance, voire des parcours de délinquants, et plus loin sur la trajectoire se pose la question de les soigner en psychiatrie, mais ils sont rentrés au niveau de leur prise en charge par le social et pas par le parcours du soin et donc cela a une incidence sur leur parcours, car peut être que l'on aurait pu les soigner plus tôt. Le dernier parcours correspond à des jeunes qui vont rester dans le flou du diagnostic pendant des années (comme beaucoup de malades psychiques) et qui ne vont pas recourir aux soins psychiatriques ils vont rester au maximum dans le milieu ordinaire, mais ils vont être entravés dans la vie de tous les jours (scolarité, insertion) par leurs troubles, donc il y a là des stratégies d'évitement de la psychiatrie. Incidence du type de parcours sollicité et leurs impacts sur les parcours et les négociations

Je vais vous présenter à présent les résultats d'une recherche qui illustre la notion de carrière qui vous a été présenté précédemment par Céline, il s'agit d'une recherche qui a porté sur des expériences de vulnérabilité sociales de jeunes adultes qui n'avaient pas stabilisé leur trajectoire d'intégration et ne pouvaient pas recourir à l'aide de leur soutien familial. Ce qui pose un problème en France puisque le RSA n'est accessible qu'à partir de 25 ans, et qu'entre 18 et 25 ans il n'y a que des aides très ponctuelles de très faibles niveaux, qui dépendent des prescripteurs locaux (travailleurs sociaux, de l'exclusion, de l'insertion). Je me suis donc intéressée à ces populations spécifiques. Du point de vue méthodologique il s'agit comme matériaux de 58 entretiens biographiques qui ont été conduits avec de jeunes adultes entre 18 et 35 ans qui connaissent au moment de l'entretien ou qui ont connu une situation de vulnérabilité sociale, ces entretiens ont été complétés avec des entretiens avec les professionnels. Bien sûr, nous sommes bien conscients que ces récits rétrospectifs biographiques contiennent une part de légende biographique, il y a une reconstruction de leur parcours a posteriori à partir de la phase de vie dans laquelle il est au moment de l'interview et qui lui permet de lui redonner du sens, mais qui ne permet pas de restituer leur trajectoire de manière objective telle qu'elle s'est déroulée. Mais au-delà de la retranscription individuelle propre à chacun il y a des éléments objectivables propres, communs à tous ces jeunes qui transcendent les individus et qui sont objectivables au-delà de la subjectivité des discours tenus. L'idée est de mettre en rapport les différents récits de vie recueillis en les situant dans des phases différentes de la vulnérabilité. En fonction de la façon dont ils ont vécu les choses ils vont les exprimer de telles façons. Pour donner du sens à cette multiplicité d'expériences, de situations, j'ai choisi pour rendre compte de tout cela, de travailler sur une analyse typologique dynamique, venant

les uns après les autres dans une lecture en termes de trajectoire, de carrière, en tant que processus au début de la vulnérabilité sociale voilà comment on ressent les choses, comment on les ressent plus tard quand l'individu est arrivé au terme de la vulnérabilité sociale est véritablement marginalisé la carrière est un modèle séquentiel l'individu va passer par différentes étapes qui peuvent être comprises par les conditions sociales dans lesquelles il vit et comment il va négocier ces conditions sociales notamment sur le plan identitaire.

Comment se fait la transition d'une phase de vulnérabilité à une autre phase de vulnérabilité mais également pour ne pas enfermer les individus dans une trajectoire balistique comment ils peuvent sortir de cela (bifurcations).

La première expérience identifiée, pour illustrer cela, c'est l'expérience de la fragilité compensée. Il s'agit de jeunes adultes qui malgré le fait qu'ils ne soient pas encore dans un parcours de stabilité professionnelle, malgré le fait qu'ils ne peuvent avoir recours à la solidarité familiale, ont des formes de support (amis, couple) et une forme de proximité de l'emploi qui font que malgré tout ils sont un peu sécurisée et qu'ils ont un sentiment de reconnaissance à travers ces liens, ce qui leur permet d'avoir une certaine autonomie dans les services d'aide qu'ils vont solliciter dans leurs parcours, ils ne sont pas encore totalement dépendants de ces services d'aide et ils peuvent encore envisager leurs difficultés comme ponctuelles, ils peuvent nourrir une forme d'espoir et peuvent s'investir dans une logique de projets professionnels, qui va correspondre aux attentes des services d'aide auxquels ils s'adressent (pour avoir accès à ces aides, il faut montrer que l'argent que l'on va leur donner va servir à quelque chose). Malgré tout ce sont des liens précaires, un équilibre instable car les liens interpersonnels peuvent se fragiliser et ces jeunes peuvent basculer dans la seconde phase de la vulnérabilité sociale.

Deuxième phase : on est ici dans la configuration totalement inverse, dépendance contrainte absence très faible niveau de qualification, très éloignés du marché de l'emploi tributaire des travailleurs sociaux, fortes attentes vis-à-vis des professionnels au bout de 6 mois l'aide s'arrête ils attendent un support qui va bien au-delà de la relation d'aide support affectif ces attentes va créer de fortes tensions et ce d'autant plus que les professionnels ne disposent que des outils qui doivent être efficaces sur des temps très courts.

De leur côté pour ces jeunes se plier aux perspectives qui s'offrent à eux n'est pas évident, ils n'ont pas de diplômes pas d'expérience pro, souvent déscolarisés depuis l'âge de 12 ans avec des horaires difficiles à tenir, des conditions subalternes, où ils se sentent peu reconnus, mal payés et qu'eux-mêmes sont déjà très abimés sur le plan psychique (avec parfois des pratiques addictives) cela va donc créer des tensions avec les professionnels qui eux veulent rapidement les réinsérer. Par rapport à cela il leur reste par rapport aux solutions qui leur sont proposées l'apathie, la passivité, qui peut se transformer assez facilement en forme d'agressivité vis-à-vis des professionnels, agressivité qui peut évoluer en violences physiques, ou alors le non recours, ils se retirent et ils mettent en échec les formes d'aide qui leur sont proposées. Les professionnels au bout d'un moment vont se désengager de ces parcours qui peuvent bien souvent soit terminer via des trajectoires de handicap (reconnaissance médicale en tant qu'handicapé), pour sortir de ces parcours de forme de dépendance, soit ces jeunes gens vont tomber dans la marginalité.

Après une rupture de tous leurs liens sociaux, ces jeunes gens dans cette troisième étape ils vont compenser la perte de ces liens en en recréant d'autres notamment dans ce sont des liens qui vont

leur procurer un sentiment d'appartenance à une communauté de vie et ce sont des liens qui vont leur donner la possibilité de résister à leur dégradation matérielle de leur situation car il y a une certaine forme de solidarité par des formes de vie alternative qui permettent d'avoir un logement aussi précaire soit-il, partager de bons plans pour la nourriture, se tenir les coudes pour faire la manche. Cela leur permet une forme d'identification sociale qu'ils vont revendiquer comme un choix, par rapport à la norme sociale d'accumulation de richesses via l'emploi comme principal mode de définition de soi. Avec ces jeunes gens l'établissement d'une forme d'aide va être possible s'il y a une forme de reconnaissance de leur situation et de leur choix. Ce qui les met en difficultés avec les services d'insertion qu'ils ne sollicitent pas d'ailleurs car la forme de projet ne correspond pas à leur mode de vie. Les bifurcations sont très complexes, longues, difficiles, il peut y avoir des sorties de trajectoire mais les retours à la rue sont assez fréquents, car ils sont physiquement, psychologiquement abimés et parce que les liens qu'ils ont tissés dans la rue ne sont pas forcément compensés quand ils sont réintégrés.

Voilà pour la présentation de ces 3 étapes. Les expériences sont interprétées comme des étapes de carrière, cette expérience de la vulnérabilité est fortement structurée par le système d'aides des moins de 25 ans. Là c'est une lecture qui s'affranchit des caractéristiques propres à tous les individus, on établit des séquences de parcours, mais est ce que tous les individus passent par ces 3 phases ? Il y en a qui passent directement à l'étape 2 ou 3, ou de rester scotché à la phase 2 en fonction de l'origine sociale, mais également en fonction du sexe. En s'attachant aux origines sociales cela permettrait de mettre en évidence les inégalités sociales des personnes qui traversent ce genre de parcours.

Questions :

-Est-ce que vous avez utilisé des cartes mentales pour appréhender leur appropriation de l'espace ?

Virginie- Je ne cherchais pas à analyser cela et je n'ai pas besoin de support, car moins on en a et mieux cela fonctionne (caractère spontanée nécessaire aux entretiens).

-Comment s'est faite la sélection des 58 personnes ?

-Ce n'est pas un échantillon représentatif, mais je les ai rencontrés par des modes de rencontre variés : travailleurs sociaux, temps de présence dans les structures (accueils de jour), professionnels qui les suivent au quotidien, protection enfance, effet boule de neige (couples), dans la rue.

-Est-ce qu'il y a une différence dans les entretiens que vous pouvez avoir entre ceux que vous rencontrez en accueil de jour et ceux que vous pouvez rencontrer dans les associations caritatives ?

-de traitement oui et de public aussi, car ces jeunes y vont à reculons dans ce genre de structures le discours en mode pitié leur est insupportable, c'est plus facile avec les éducateurs de rue qui les reconnaissent dans leurs compétences (usage des drogues etc...), et qui ne sont immédiatement dans la remise en cause de leur mode de vie.

Jean-Christophe HAMILTON. Potentiels, trajectoires chaotiques : des notions fondamentales en cosmologie

La cosmologie est une branche de la physique, probablement la plus ancienne où on essaye de décrire le futur, l'histoire, les mécanismes de l'Univers et le contenu de l'Univers, c'est donc un programme vaste, ambitieux, donc tout cela nous amène à être prudents sur les conclusions que nous pouvons en tirer d'autant plus que l'on observe toujours l'Univers du même endroit, surtout quand ces conclusions sont surprenantes, et aussi surprenantes que celles que l'on fait aujourd'hui, c'est-à-dire qu'il semble que l'Univers soit essentiellement composé de ce que l'on appelle l'énergie sombre (74%) à laquelle on ne comprend pas grand-chose, ajouté à cela 22% de matière noire à laquelle on ne comprend pas plus de choses, et donc il n'y a que 4% de l'Univers qui est parfaitement compris qui sont les particules que nous avons autour de nous. Ce qu'il faut intégrer c'est que l'Univers est en expansion, il est parti d'un instant extrêmement chaud, d'un point extrêmement chaud (est-ce que c'est un point ou pas ça c'est une autre source de discussions) et depuis 13,7 milliards d'années il n'a fait que se refroidir, au cours de ce refroidissement diverses choses vont avoir lieu, mais l'histoire de l'expansion de l'univers, la façon dont se fait cette expansion, sa vitesse, l'émission du fond diffus cosmologique, la formation des galaxies tout cela va dépendre fortement du contenu de l'Univers et c'est en observant cela que l'on arrive à comprendre le contenu de l'univers et à reconstituer toute l'histoire.

Je vais commencer par parler des potentiels gravitationnels, je vais pour ça parler de la théorie de la relativité générale, et l'effet des lentilles anti-gravitationnelles, de l'expansion de l'Univers, et de l'impact des potentiels gravitationnels qui sont dans l'Univers sur les observables que l'on peut avoir, et vous allez voir que cela donne lieu à des effets impressionnants.

Un potentiel gravitationnel ça ressemble à un puit, on appelle cela d'ailleurs un puit de potentiel, et les particules vont tomber dedans. La théorie de la relativité générale on l'a doit à Albert Einstein en 1915, la gravitation contrairement à ce que nous avait raconté Newton n'est pas une force entre 2 particules se situant à une certaine distance, il n'y a pas de force mais il s'agit plutôt d'une courbure de l'espace-temps, la matière va indiquer à l'espace-temps comment se courber et l'espace-temps va indiquer aux particules, à la matière, comment et par où bouger en fonction de sa courbure, ça c'est résumé dans une série d'équations différentielle.

Forme de l'espace-temps et de sa courbure = le contenu matériel de l'Univers. Si vous changez l'un, vous changez l'autre, car il y a un signe égal entre les 2.

Si vous posez des masses dans l'Univers la courbure de l'espace-temps va suivre les masses (comme une boule de billard sur un oreiller) et la courbure va être d'autant plus grande que la masse est grande et donc la trajectoire des particules va être influencée par cette courbure de l'espace-temps. Les objets s'ils ne sont soumis à aucune force se déplacent donc bien dans une ligne droite, mais cette ligne droite est fermée selon la courbure de l'espace-temps.

Donc le déplacement gravitationnel d'une masse ici va dépendre de l'énergie dans son ensemble et du coup ça va marcher aussi avec de la lumière qui est de masse nulle, et un photon qui vient d'une étoile A au lieu d'avoir une trajectoire en ligne droite qui ne serait pas visible depuis la Terre il va avoir une trajectoire incurvée B à cause de la présence soleil qui sera visible mais qui ne correspond

pas en fait à sa position réelle du fait de la courbure du rayon lumineux. On a pu voir que la trajectoire des photons était incurvée à cause de la présence du soleil, c'est ce que l'on a pu voir en 1919 et cela a été la première vérification expérimentale de la théorie de la relativité générale. Cet effet de la courbure des rayons lumineux on appelle ça l'effet de lentillage gravitationnel, la masse en courbant l'espace-temps va agir comme une lentille et donc va augmenter la quantité de lumière dans une direction ou l'atténuer dans d'autres. En pratique comment cela va marcher : Vous imaginez que vous avez une galaxie très lointaine et devant vous avez un amas de galaxies, ces galaxies vont courber les rayons lumineux de sorte que les galaxies d'arrière-plan vont vous paraître déformées. Cette étude de la forme et de l'orientation des galaxies qui vont avoir tendance à s'enrouler autour de la lentille et l'étude de cette forme va permettre de remonter à la forme du potentiel gravitationnel qui a donné lieu à cette lentille. Et on peut à partir d'une image réelle reconstruire la forme du potentiel gravitationnel. Voilà comment ça se passe, vous avez ici une image d'un amas de galaxies qui est proche et qui s'appelle Abel 16-89 et en arrière plans vous avez des galaxies qui sont très déformées (qui sont en forme d'un arc) ça c'est simplement la matière qui se trouve à l'intérieur de ces galaxies qui modifie la trajectoire de nos photons. La même chose sur une étude réalisée plus récemment cette fois on a ajouté des couleurs mauves sur une image, ces couleurs mauves sont exactement la forme des potentiels qui ont été reconstruits, donc on va prendre la forme et l'orientation de toutes les galaxies qui sont là, faire des tas d'études statistiques pour remonter à la forme du potentiel gravitationnel qui est responsable de la déformation de cette image.

Je vais vous parler à présent du spectre des étoiles. Vous savez que si vous prenez de la lumière et que vous la faites passer par un prisme, vous allez voir les couleurs de l'arc-en-ciel et si vous regardez les étoiles, en fonction de leurs températures, elles vont être + ou – bleues ou + ou – rouges. Les étoiles rouges étant les plus froides et les étoiles bleues étant les plus chaudes. Si vous regardez un moment à l'intérieur de ce spectre d'étoiles vous avez des raies d'absorption, c'est à dire que vous avez une source lumineuse et pour chacune des couleurs de l'arc en ciel on a une certaine intensité qui correspond à des longueurs d'ondes, cela représente autant de photons, qui sont chacun à une certaine longueur d'ondes quand ces photons passent à l'intérieur d'un gaz ils rencontrent des atomes pour lesquels il y a des électrons qui sont sur certaines couches et certains photons vont avoir exactement l'énergie pour faire passer ces électrons d'une couche à l'autre donc ils vont déposer leur énergie, exciter cet atome qui se désexcite un peu plus tard mais du coup il va manquer des photons, c'est ce qui explique à l'intérieur de votre spectre source des raies d'absorption, on sait bien les reconnaître en laboratoire et du coup on va pouvoir faire cela sur des objets astronomiques. Alors monsieur Hubble en 1929 s'est rendu compte que plus il observait des galaxies lointaines et plus la raie d'absorption WK était décalée vers le rouge, Hubble l'a interprété comme étant lié à un effet doppler, c'est ce que l'on appelle le red shift en anglais qui correspond à la vitesse de l'objet/la vitesse de la lumière, et l'on a remarqué que la vitesse était proportionnelle à la distance où se trouvaient les galaxies, cela signe le fait que l'univers est en expansion globale, de partout en même temps, car on peut faire la même observation depuis différents points. Et la vitesse à laquelle les objets semblent s'éloigner de nous est proportionnelle à leur distance. Ce décalage vers le rouge c'est le seul moyen que l'on a en cosmologie pour connaître la distance des galaxies, les galaxies ne nous donnent pas leurs coordonnées x, y, z, elles nous donnent que leur téta, phi et leur décalage vers le rouge. C'est là où on va voir l'influence du potentiel gravitationnel car les galaxies ont leur mouvement propre, elles sont à l'intérieur du potentiel gravitationnel, il va y avoir un

ensemble de masses à cet endroit-là qui va faire que les galaxies sont en train d'y tomber dedans (puit gravitationnel), donc ce mouvement de la galaxie va s'ajouter à cette expansion de l'univers donc il va y avoir la somme du *red shift*, du décalage vers le rouge lié à l'expansion de l'univers mais aussi le *red shift* dû aux vitesses particulières de cet objet. Malheureusement, cela va avoir des effets qui vont être systématiques, c'est à dire que cela ne va pas qu'ajouter du bruit à de la mesure. Imaginez qu'aux très hautes échelles vous avez une surdensité de l'univers à cet endroit, un des amas de galaxies dont je parlais tout à l'heure, les galaxies vont tomber par rapport à celles qui sont là elles vont donc avoir une vitesse négative par rapport à votre ligne de visée, alors que ces galaxies, là, vont avoir tendance à vous fuir. Donc le décalage vers le rouge de ces dernières va être un peu plus grand, elles vont vous apparaître un peu plus loin, alors que le décalage des premières va vous apparaître un peu petit et donc elles vont vous apparaître comme étant un peu plus proches. De sorte que cette belle sphère va vous apparaître comme une espèce de crête un peu allongée, un peu aplatie suivant la ligne du viseur. Ca c'est ce que l'on appelle l'effet Kaiser quand on mesure des distributions spatiales de galaxies, pour faire de la cosmologie, il faut s'affranchir de ce genre d'effets qui sont liés donc à la présence de potentiels.

Un autre effet qui est plus spectaculaire c'est ce que l'on appelle les doigts de Dieu, c'est le même genre d'effet sauf que l'on est en train de regarder au cœur de cet amas de galaxies, dans le cas d'un amas qui existe depuis longtemps et où finalement tout ça, ça s'est thermalisé, on a atteint un certain équilibre gravitationnel et tous les objets ont des mouvements aléatoires autour de ce centre de l'amas ici. Ce qui va se passer c'est que la projection sur l'axe de visée de toutes les vitesses de chacun des objets qui sont aléatoires et on va avoir l'impression que cette distribution sphérique de galaxies va être allongée dans la direction de visée, de sorte que l'on a l'impression que l'on a des doigts qui pointent vers la Terre, d'où le nom de doigts de Dieu.

Donc les potentiels gravitationnels nous jouent des tours dans les observations que l'on fait.

Je vais vous parler à présent d'équilibres thermiques, et cela va être l'occasion de parler du fond diffus cosmologique qui est un peu la pierre de rosette de la cosmologie. On a découvert l'existence du fond diffus cosmologique dans les années 60, on l'observe sans arrêt depuis, et ces dernières années on a pu atteindre des qualités d'observation hallucinantes qui nous ont permis de rentrer dans la phase de cosmologie de précision, où on mesure les paramètres de l'univers au % depuis une dizaine d'années environ.

Qu'est-ce que le fond diffus cosmologique ?

Dans l'univers très jeune la température est tellement élevée que tous les atomes sont ionisés, tous les électrons sont arrachés des atomes, on a continuellement des réactions, et la matière à cette époque-là c'est essentiellement des protons et des électrons donc des atomes d'hydrogène et on a continuellement des photons qui vont taper ces atomes d'hydrogène pour séparer le proton de l'électron. Un peu plus tard ils sont recombinaisonnés mais tout de suite on va avoir un photon énergétique qui va les casser, donc on a continuellement cette réaction qui va dans les 2 sens et c'est ça que l'on a appelé l'équilibre thermique. L'énergie va être bien répartie entre toutes les particules et en gros si vous prenez ici toutes les particules elles vont avoir la même distribution d'énergie car elles n'arrêtent pas d'échanger avec leurs voisines et tout le monde se retrouve avec exactement la même température. La lumière ne se propage pas dans cet univers très jeune puisque les photons ne font que casser les protons et les électrons. L'univers est en expansion, sa température moyenne diminue

et à un moment on passe en dessous de la température de liaison de l'atome d'hydrogène de sorte que les photons en moyenne ne sont plus suffisamment « musclés » pour casser les atomes qui se formeraient par hasard, et donc on se retrouve dans un univers neutre de sorte que les photons ne voient plus en quelque sorte la matière et ils peuvent passer librement à travers l'univers, c'est le moment où la lumière dans l'univers commence à se propager, Fiat Lux ! La température à ce moment-là est de 3000 degrés kelvin, et on a un décalage dans le rouge (une distance) de 1000 de sorte que l'on s'attend à ce que la lumière mesurée aujourd'hui soit de 3° kelvin, et donc on va avoir une photographie de l'univers à cet instant-là puisque tous les photons du fond diffus ont été émis à cet instant-là, donc vous avez une photo de l'univers jeune (paléontologie de la cosmologie).

Tous ces photons ont été émis au même instant depuis une sphère qui se trouve à 13.7 milliards d'années autour de nous, et donc on peut faire la carte de l'univers à ce moment-là puisque la température moyenne est la même partout puisqu'il y avait équilibre thermique. Si on retire la température moyenne de cette image là on voit un dipôle qui correspond à un effet Doppler de notre propre mouvement (terre, galaxie, notre amas de galaxie etc..) par rapport à ce référentiel où le fond diffus a été émis. On peut aussi retirer ce dipôle, c'est tout petit de l'ordre 1,4 milli kelvin et on se retrouve avec ce genre d'images où on a des variations de l'ordre de micro kelvin, ce sont des fluctuations de densité de l'univers âgé de 300 000 ans, et en observant cette photo on va obtenir des tas d'informations. Planck, le satellite de l'agence spatiale européenne a obtenu une image très détaillée de l'Univers.

Je vous ai dit que ce fond diffus cosmologique était émis par un corps qui était en gros à l'équilibre thermodynamique de sorte que l'on s'attend à ce que le spectre de son rayonnement suive le spectre de celui que l'on appelle un corps noir, vous prenez un corps parfait en physique, un corps idéal et on peut prédire la répartition de l'énergie des photons qui sont issus de ce corps, c'est un problème standard de physique. On devrait avoir un corps noir parfait à la température du fond diffus cosmologique et en fait ce que l'on voit lorsque l'on fait le spectre de cet objet-là c'est-à-dire la répartition de l'intensité lumineuse en fonction de la fréquence cela suit exactement la température de ce corps noir à cette température-là. De sorte qu'aujourd'hui le fond diffus cosmologique c'est le meilleur corps noir que l'on puisse faire, on n'est pas capable de le reproduire en laboratoire. Le fond diffus cosmologique a été découvert par Wilson, les fluctuations du fond diffus ont été découvertes la première fois en 1992 par un satellite dirigé par Smoot, et l'autre partie du satellite était dirigé par Matter qui a fait cette mesure.

En observant les micro-fluctuations 30 micro kelvin par rapport à 3 kelvin on arrive à comprendre comment les structures se sont formées puisque ce sont les graines qui un jour vont finir par former des galaxies, des amas de galaxies etc...

Le fond diffus cosmologique est aussi intéressant du point de vue au lentillage gravitationnel puisque les photons du fond diffus cosmologie ont voyagé depuis 13.7 milliards d'années et sont passés à travers toutes les structures de l'univers qu'ils ont pu rencontrer et ces photons va avoir leurs trajectoires affectées par cela et voilà l'effet, comme les photons qui passaient tout à l'heure à proximité du soleil mais avec un effet beaucoup plus faible. Typiquement si on regarde une carte du satellite Planck on arrive à reconstruire la forme du potentiel gravitationnel. A chaque fois que les photons passent au voisinage d'une structure gravitationnelle ils tombent dans un puit de potentiel, et ils remontent le puit de potentiel pour ressortir. Ce qu'ils gagnent en énergie en tombant dans le

puits de potentiel, ils vont le perdre en le remontant. Mais dans le cas d'un univers sombre, l'expansion de l'univers est accélérée et ce qu'ils ont perdu en tombant n'est pas parfaitement regagné, il va y avoir une légère différence. Des chercheurs ont pris une carte du fond diffus cosmologique et ils ont analysé ce phénomène en regardant des zones dans une certaine ligne de visée où on sait qu'il y a beaucoup de matière (des amas, des galaxies et) et des zones au contraire où l'on sait qu'il y a beaucoup de vide autour des régions vides ils obtiennent une température plus basse puisque ces photons ont perdu un peu d'énergie entre la descente et la montée du puits de potentiel, alors que s'ils regardent dans la direction des amas, ils voient que ces photons ont gagné un tout petit peu d'énergie et donc leur température est plus élevée (ils sont plus rouges).

Stéphane DOUADY. Potentiel, Equilibre ? Trajectoires !

Je vais reprendre un peu ces notions de potentiel, trajectoire, équilibre que j'ai appris en physique. En physique un potentiel l'énergie dépend de la position d'une particule, on représente la particule par une bille, on dit qu'il y a des frottements, et la bille va tomber au fond, c'est ce qui se passe par exemple dans un vase, et au fond vous avez un coefficient d'équilibre et un champ de potentiel autour, et ce champ de potentiel souvent on ne s'y intéresse pas beaucoup car il nous amène vers le bas, et ça ne bouge plus beaucoup, mais il y a quelques points qui sont intéressants qui sont des points colle où la particule peut hésiter à passer à gauche ou à droite.

Si on regarde les trajectoires on lâche des billes un peu partout là on voit qu'elles descendent et là on voit qu'il y a 2 minimum (attracteurs) ce sont les endroits où il peut se passer des choses intéressantes du point de vue de la dynamique ce sont des points où justement les billes peuvent bifurquer, en fait les trajectoires vont converger même si elles sont différentes vers les minimums (attracteurs déterminent l'ensemble du système). En biologie, ils ont une vision de potentiel où l'optimum est mis en haut c'est l'inverse donc d'un point colle et les organismes vont s'adapter à leur environnement et ils vont aller vers des optimaux plus ou moins locaux (comment ils y vont ce n'est pas clair, juste ce que l'on sait c'est qu'il est en haut). Le potentiel en biologie dépend des autres individus, il est mouvant, contrairement à la physique où il est fixe (interactions avec les autres), si je vis c'est parce que je mange d'autres êtres vivants, mais on ne sait pas le définir, on ne peut pas le mesurer, et on ne peut pas le trouver. De plus, en matière de développement on ne sait pas trop comment on se développe, comment on passe d'une cellule à une autre.

Pour respirer, là on voit le développement du poumon à partir d'un embryon de souris, c'est intéressant d'un point de vue de la morphogénèse car ça se développe très vite. Au début il y a un repli qui est sur la bouche, il y a l'œsophage, l'embryon ressemble à une galette, puis un tube pousse et se sépare en 2 et ainsi de suite.

Les physiciens savent créer des instabilités cela a été exploité pour l'extraction du pétrole, si vous insufflez de l'air dans du pétrole et si vous soufflez trop fort vous faites une forme de doigt au lieu d'une bulle et vous vous créez de très jolies formes, c'est l'autre forme des systèmes dynamiques : la croissance des instabilités, c'est beaucoup plus intéressant, là vous avez une forme complète mais rien ne dit dans le système que vous allez atteindre cette forme-là. Les seules choses que vous avez c'est un système simple, de l'air, de l'huile, une tension de surface, et un mécanisme dynamique qui dit que ce qui fait pousser le doigt c'est la différence de pression, mais la différence de pression va

dépendre de la distance au bord, et aussi un peu de la forme localement. Donc si vous faites une petite bosse ici, elle va être plus près du bord donc elle va avoir un gradient de pression plus grand donc elle va plus vite, c'est une instabilité, si vous avez quelque chose d'homogène ça reste homogène, mais dès que vous mettez une bosse elle va grossir et du coup elle va même faire diminuer le reste et ainsi de suite. Donc, l'intérêt de cela c'est qu'avec seulement quelques éléments : de l'huile, de l'eau, une tension de surface, de la viscosité, et vous mettez juste une dynamique, et la dynamique : j'ai une forme qui crée le potentiel qui est là, la pression je calcule le gradient de pression qui me donne les variations de vitesse à laquelle ça va avancer donc cela modifie ma forme et ainsi de suite, l'intérêt c'est que c'est dynamique que vous laissez évoluer et l'évolution se complexifie spontanément : il y a des doigts qui apparaissent, les doigts s'écartent les uns des autres, celui-là il est mort du fait de l'interaction avec les autres, après le doigt a plus de place donc il se sépare en plusieurs, il y a une richesse possible qui est énorme. Mais les formes biologiques ne sont pas que des instabilités, on a besoin d'une régulation, mais si en dehors des gènes on des mécanismes qui donnent des formes, il faut expliquer pourquoi les formes que l'on obtient sont toujours les mêmes : un lapin donne un lapin, c'est dû en fait à des régulations. Les physiciens aiment bien ce genre de système « pur » mais un système physique dont le résultat dépend des bords n'est pas un bon système physique, et en biologie ce n'est jamais un bon système physique, tout ce que l'on connaît ça dépend en fait toujours des bords, par ex le poumon il ne pousse pas à l'infini, le poumon il pousse dans une masse embryonnaire qui elle-même pousse dans une cavité, donc elle est limitée par les autres et là elle est limitée par la peau l'épithélium qui la compresse, si on prend en compte la masse dans laquelle ça pousse, on a des modèles qui reproduisent la croissance du poumon. Donc on a un mécanisme simple bien entendu codé génétiquement, on peut sortir les gènes, au lieu que ce soit de la pression cela va être un gradient de la morphogène, le système qui est absorbé-là qui déclenche des pressions d'un gène qui déclenche des proliférations etc..., donc il y a des circuits génétiques internes, donc il y a des dynamiques modulés par les régulations. Là c'est le développement d'un rein c'est la même chose, les bifurcations se font toujours à la frontière du bord comme dans les poumons, comme il y a de l'inhibition entre les doigts ils ne se rencontrent pas, et on explique que tous les bouts des doigts sont bien répartis sur tous les bords. L'intérêt de cela c'est que l'on peut dire que la forme que l'on obtient c'est une instabilité régulée, elle est le résultat d'une trajectoire, mais ce développement là on ne peut pas le prédire, mais il y a des formes de régulation qui vont le restreindre. Donc pour la richesse on utilise des instabilités, des régulations, et des conditions limites. Les règles que l'on se donne vont contraindre la forme même si on n'arrive pas à l'obtenir.

Un autre cas intéressant c'est la phyllotaxie, la disposition des fleurs et des feuilles, on ne connaît pas les résultats, ex. des fleurs de tournesol, d'une pomme de pin, on a des 2 spirales consécutives de Fibonacci c'est une mathématique très particulière et pendant longtemps on s'est demandé pourquoi c'était comme ça, on a supposé que cela devait être la meilleure des dispositions, or ce n'est pas forcément vrai et notamment parce que cette disposition là on l'obtient depuis les premiers arbres, quelqu'un l'a trouvé dans des arbres datant du Dévonien en Suède et en Norvège (400 Ma). Ça pousse dès l'apparition des bourgeons, la structure est déjà là. Quelqu'un a pensé que ça ressemblait à un empilement compact de boules, et il a regardé tous les empilements compacts de boules possibles sans se poser de questions, il a fait des calculs, et il trouve une solution qui est en forme d'arbres : chaque branche est un type d'empilements et puis on a des bifurcations, la forme se déploie à partir des précédents comme pour le poumon, cela introduit une continuité, je peux

déformer mais petit à petit. Et si j'essaye de le reproduire moi-même en mettant les empilements uns par uns cela introduit une contrainte de continuité qui est extrêmement forte et qui supprime les bifurcations, alors que l'on pouvait aller soit à gauche ça devient interdit et quand on est sur une branche donnée on va toujours du même côté et ainsi de suite. Là sur cette branche c'est la seule qui va de « petit paramètre » à « grand paramètre » et là elle correspond à la suite de Fibonacci pour expliquer cela dans la nature pour faire pousser un tournesol on part d'un petit paramètre, le diminuer, faire pousser le tournesol et après on monte. Donc l'idée c'est que pour avoir un résultat final, une certaine forme, on doit avoir une trajectoire bien définie et pas trop vite non plus, ce que l'on a c'est un système mathématique que l'on n'imaginait pas, c'est une contrainte mathématique, ça marche si on va lentement.

Si on veut comprendre la forme, c'est pas du tout parce que c'est optimal, la plante elle s'en moque, elle peut survivre sans cette suite, c'est parce que l'on part d'un embryon de plante qui peu à peu grossit et si on va lentement elle est bloquée sur cette solution-là, et la trajectoire que l'on suit dans ce développement-là elle dépend de petites fluctuations et si on va trop vite ça va faire des défauts. On ne peut pas deviner l'arbre d'une branche, l'ensemble des formes possibles est assez difficile à deviner, de même que l'on ne peut pas faire apparaître un tournesol ex nihilo, donc c'est un système qui est à la fois riche, contraint mais qui peut fluctuer.

Les villes : Si on regarde à présent sur un plan de Paris à la fin de la période hausmanienne la forme on a une structure compliquée qui n'est pas apparue ex nihilo non plus, elle est apparue progressivement comme la plante on reconstruit les rues avec un logiciel qui nous fait apparaître les structures de manière non supervisée, mais on ne s'intéresse pas à la distance linéaire, on reconstruit les rues et pour les codifier on regarde le nombre de tournants (la quantité d'informations) pour aller d'un point A à un point B combien de tournants il faut, les rouges ce sont celles qui permettent d'aller d'un bout à l'autre de la ville avec un minimum de tournants, et les bleus c'est l'inverse, on voit que l'on a une structure qui réapparaît qui est liée à la structure de la ville historique, et l'on voit par ex la rue du faubourg Saint Honoré qui est une très vieille voie, Saint Jacques qui ressort très fort, Saint Denis, Belleville un peu, donc les axes historiques ressortent très fortement. Là vous voyez Paris sans les percées hausmaniennes, et là avec les percements. En fait les percements ont ajouté une grille qui permet de se déplacer, mais ils n'ont pas trop modifié la grille antérieure qui est toujours là et que l'on retrouve bien dans ce cas. On peut repérer les quartiers, en rouge les vieux quartiers, en bleu les quartiers modernes du 19^{ième} siècle chics et là tous les quartiers mixtes un peu pop et développement mi-récent en intermédiaire et on peut caractériser les impacts par exemple si on perce on peut supposer que l'on va ajouter des cheminements pour la ville, on peut penser que c'est meilleur, on peut calculer par ex l'impact du percement Sébastopol/Saint Michel et il y a de grandes zones où il est négatif, il y a bien sur des zones positives pour la route de Sèvres mais globalement c'est négatif, car il reprend un axe qui existait déjà : Saint-Jacques/Saint-Denis/Saint Martin et là il y avait déjà la route d'Orléans il coupe dans le tissu à la place et il y a un mépris de la structure précédente, en cassant la continuité des routes il crée une perte d'efficacité des cheminements. Avec les villes nouvelles on a fait la même chose, on a essayé de créer des villes optimales, proches de la nature, avec par ex. des structures en nids d'abeilles à 60 degrés : on a fait cela au Mirail à Toulouse et en Hollande aussi, mais en fait ça ne marche pas, car ce n'est pas historique, et elle ne correspond pas au fonctionnement que l'on a dans notre cerveau, on est bilatéralisé, on a un haut et un bas (c'est normal c'est la gravité) et un devant et un arrière, et gauche droite c'est symétrique donc dans notre tête c'est quadrillé, soit je vais tout droit ou bien je tourne à droite ou bien je tourne à gauche,

mais si vous mettez des angles à 120 degrés les gens ne savent pas se repérer cela ne marche pas du tout. L'idéal c'est quand la structure de la ville correspond au fonctionnement que l'on en fait. On peut créer des modèles, on a des rues, on construit des maisons, on crée un système maillé c'est comme un système de craquelure dans une céramique ; ça refroidit, ça craque, ça fait de nouvelles coupures qui découpent l'espace. La question c'est quelle coupure va se découper (prévoir les craquelures), pour cela on introduit à nouveau la notion de potentiel, et on va calculer la potentialité d'une craquelure à se découper que l'on va calculer en fonction de la distance, de la taille de l'objet (plus c'est grand et plus on a des chances de se découper) et du nombre de carrefours autour (plus il y a de carrefours autour et plus et plus la matière a « envie » de se découper), et donc on évalue cela et si on fait des potentiels normaux on a une magnifique instabilité, c'est vraiment l'image d'une ville où il y a un effet « agglomératif » des voisins : plus la ville est grosse et plus elle attire des voisins et plus elle se découpe et ainsi de suite...on a aussi des gradients de taille, la ville très concentré, la banlieue, des champs maraichers, de cultures, et de pâtures, etc. Le potentiel c'est ce qui vous donne la dynamique à un moment donné, j'ai des forces et le potentiel me dit ce qui va se passer à l'instant d'après. S'il y avait un équilibre, il n'y aurait pas de forces et il ne se passerait rien. Ce potentiel-là n'est pas constant mais il dépend de ce qui s'est passé avant, et à chaque étape je modifie mon potentiel c'est pour cela que l'on ne peut pas prédire simplement mais c'est aussi pour cela que l'on peut créer des formes très riches. Gestion de la bicyclette on est sur un moment présent que l'on ne sait pas déterminer j'essaye de prédire l'avenir en espérant qu'il est le même que le passé on a l'impression que rien ne change car on est toujours dans le même mouvement c'est ce que l'on appelle l'homéorhésie, par ex. on a l'impression que nous sommes le même qu'hier et que nous serons demain le même qu'aujourd'hui comme on est dans le même mouvement de perception, (percevoir l'avenir en fonction du passé). C'est pareil pour une ville on peut avoir l'impression qu'une ville est stable à l'échelle de 100 ans c'est long pour nous mais pas pour une ville et en fait elle peut être en explosion il n'y a rien de stabiliser. Ce que l'on observe dans les villes c'est ce côté instable.

. Conclusion par Sandra PEREZ

Ce qu'il ressort après vous avoir tous écouté avec attention, c'est que peu importe nos disciplines d'appartenance, au fond nous nous posons tous les mêmes questions scientifiques, nous nous interrogeons sur les meilleures méthodes pour y répondre, et nous butons sur les mêmes difficultés. Ce fut un réel bonheur de vous avoir tous réunis aujourd'hui, et j'espère que nous nous sommes tous enrichis à l'écoute des uns et des autres.

