Les systèmes métamimétiques

Non mais vraiment, si un beau jour on trouvait, pour de bon, la formule de tous nos caprices et vouloirs, je veux dire ce dont ils dépendent, selon quelles lois ils prennent naissance, comment au juste ils se propagent, vers quoi ils tendent, dans tel ou tel cas, etc., etc. c'est-à-dire une véritable formule mathématique, mais alors, dans ce cas, ma foi... L'homme cesserait probablement aussitôt de penser, ou même, ma foi... Cesserait certainement de penser. Voyons, quel plaisir y a-t-il à vouloir conformément à une table de calcul?

Notes d'un souterrain, Dostoïevski

Introduction

La cybernétique de second ordre et le paradoxe de l'auto-organisation

Nous abordons maintenant ce qui constitue l'apport scientifique propre de cette thèse. Dans tout ce qui va suivre, nous allons tenter de donner une image aussi précise que possible de ce que pourrait être une théorie formalisée des phénomènes mimétiques au sein des systèmes sociaux, qui inclurait les spécificités de la cognition humaine explicitées dans la partie précédente.

Pour ce faire, nous allons construire une approche qui sera à la fois ascendante (*bottom-up*), de l'individu vers le collectif, et descendante (*top-down*), du collectif vers les individus. Ainsi nous nous intéresserons aux phénomènes émergents et aux phénomènes d'auto-organisation qui pourraient être caractéristiques des systèmes sociaux humains, et à la rétroaction possible des phénomènes émergeants sur les comportements individuels. Cette approche a été appelée *individualisme méthodologique complexe*, et nous pouvons tenter de la résumer en une phrase volontairement circulaire : les éléments et le tout sont les parties d'un ensemble qui ne peut être compris que comme un tout. Elle est l'héritière de ce que l'on a appelé « la seconde cybernétique ».

Le terme cybernétique a été introduit dans son sens actuel par Norbert Wiener dans son ouvrage *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine* (1948), à propos du courant de pensée qui a vu le jour au cours des années 1940. Sa définition générale est « l'étude des systèmes considérés sous l'angle de la commande et de la communication ». C'est notamment le courant de pensée au sein duquel s'est développée toute la théorie de la programmation et de l'informatique en général, qui a débouché sur les sciences cognitives et l'intelligence artificielle. Mais dès les années 1960, certains scientifiques ont appelé à une « cybernétique du second ordre », «*réflexive, une cybernétique de l'observateur et non plus seulement de l'observé*[53] ». Le but était alors d'étudier des systèmes s'auto-contrôlant, s'auto-organisant, qu'il n'est pas possible de comprendre sans en saisir la logique interne ; des systèmes qui évoluent par eux-mêmes et pour eux-mêmes. Les exemples prototypiques de tels systèmes sont la cellule, le cerveau et enfin, les systèmes sociaux.

[53] Jean-Pierre Dupuy, session d'ouverture du colloque de Cerisy « *L'auto-organisation, de la physique au politique* », Seuil, 1983.

Mais ces théories de l'auto-organisation se sont vite heurtées au problème de la causalité circulaire que leur définition implique. En effet, l'auto-organisation doit nécessairement reposer sur une règle d'organisation, qui, si l'auto-organisation est véritable, doit être le produit du système lui-même, ceci amenant la question de méta-organisation (Ashby 1962*, voir l'encart n°8) ou de la métarègle (Hofstadter 1979). Nous voyons donc que la problématique que nous avons soulevée dans la première partie de cette thèse, concernant l'origine et la nature de la règle de dernier niveau dans un modèle formel, est en fait l'héritière de cette problématique bien plus générale sur l'origine de l'auto-organisation, si nous envisageons les systèmes économiques et sociaux sous l'angle de l'auto-organisation.

Deux approches ont été proposées pour contourner l'argument d'Ashby. La première, développée par Henri Atlan, propose que le changement d'organisation puisse se produire non pas sous l'effet d'une méta-loi qui régirait le changement de façon constante et prévue à l'avance, mais sous l'effet de perturbations aléatoires (Atlan 1983). Ainsi, Henri Atlan propose que la propriété fondamentale des systèmes auto-organisés soit de pouvoir se structurer et se complexifier sous l'effet du bruit. La deuxième approche, développée par Francisco Varela, est celle des *systèmes autonomes*, dont la propriété est d'être opérationnellement clos : les effets du réseau de processus dynamiques qui les définit se manifestent dans ce même réseau. Varela contraste cette approche avec le point de vue traditionnel de la commande (*control*) adopté par Ashby, pour lequel la dynamique du système est commandée de l'extérieur, à travers les entrées du système (*inputs*).

C'est sur le fond de ces deux approches que notre proposition fera sens. C'est la raison pour laquelle nous allons maintenant présenter le point de vue de Francisco Varela sur cette question, exposé synthétiquement au cours d'un colloque de Cerisy sur l'auto-organisation (1981) qui a marqué une étape importante de la réflexion dans ce domaine.

Texte de référence **8**

L'impossibilité d'une auto-organisation forte

Dans son article historique de 1962, Principles of the Self-Organizing System, Ross Ashby pose de sérieuses limites à la théorie des systèmes auto-organisés dans le cadre de la cybernétique : il n'y a pas de machine capable de s'auto-organiser. Avant d'exposer l'argument d'Ashby, précisons ce qu'il entend par « machine » et par « auto-organiser». Ashby définit une «machine» comme un système tel que son état interne et son environnement définissent de manière *unique* ce que son prochain état interne sera. Ainsi, une machine peut être définie par un ensemble d'états internes S, un ensemble d'inputs I ou d'états de l'environnement, et une fonction $f : I \times S \rightarrow S$. L'organisation d'une machine est alors précisément la donnée de cette fonction f. Ashby distingue deux sens possibles du mot auto-organisation. Le premier, que nous désignerons par « fort », est la capacité pour une machine de changer f, le deuxième, « faible », exprime les capacités pour des systèmes initialement indépendants de créer entre eux des liens qui les rendront inter-dépendants, et les feront fonctionner comme un tout. C'est de ce sens fort dont parle Ashby dans sa conjecture d'impossibilité. Venons en maintenant aux arguments proprement dits.

Selon Ashby, cela n'a pas de sens de dire que f est une fonction de l'état du système. L'exemple qu'il prend pour illustrer cette idée est celui des lois de la gravitation de Newton, qui postulent que la force varie comme l'inverse de la distance au carré : $F=M_1M_2/d^{2}$. Proposer $F=M_1M_2/d^{3}$ serait une loi différente. Mais supposons que la loi, et non la force, change avec la distance, de telle sorte que l'exposant ne soit plus 2 mais une certaine fonction de la distance $\varphi(d)$. Cette suggestion est illogique, puisqu'à ce moment-là nous aurions $F=M_1M_2/d^{\varphi(d)}$, ce qui ne représente pas une loi changeant avec la distance, mais une loi couvrant *toutes* les distances. Dans ce cas, la loi a tout simplement été re-définie. En toute généralité, si la fonction d'organisation f d'une machine devait être une fonction des états S du système, nous aurions à re-définir notre machine.

Ainsi, supposons que le point de départ est un système défini par un ensemble d'états S et une fonction d'organisation f, et que cette fonction doit être changée pour une autre fonction g. Cela veut dire qu'il y a une variable $\gamma(t)$, fonction du temps, telle que sa première valeur est f, et l'une de ses valeurs ultérieures est g. La *cause* de ce changement ne peut être dans l'ensemble des états S, elle doit donc venir de l'extérieur du système, agissant sur le système S comme un input. Si le système peut être vu dans un certain sens comme «auto-organisé», ce n'est qu'à condition d'élargir « l'auto » à un ensemble plus vaste qui inclut la variable γ, la cause du changement de S devant être dans ($S+\gamma$). L'apparence d'être « auto-organisée » ne peut donc être réalisée qu'en couplant la machine S avec une autre machine en laquelle réside la cause de son changement.

Référence : W. Ross Ashby, "Principles of the Self-Organizing System" p 255-278; dans Heinz Von Foster & H. Zopf (eds), Principles of Self-Organization, New-York Pergamon 1962*

Le couplage par *input,* le couplage par *clôture*

Dans son article « *L'auto-organisation : de l'apparence au mécanisme »* (1983), Francisco Varela propose de donner une idée de ce que pourrait être le couplage entre un système et le monde extérieur, de telle sorte que ce couplage ne soit pas un déterminant du système, mais définisse une relation assez souple pour que l'on puisse parler d'indépendance relative entre les événements propres au système et ceux qui appartiennent à son environnement. C'est ce que Varela appelle *couplage ponctuel*.

La théorie des systèmes fournit un paradigme du couplage ponctuel : une entrée (*input*) transforme la dynamique des états d'un système Σ. Cela peut se décrire formellement de la manière suivante. Soit *I* l'espace des inputs permis, *S* l'espace des états du système Σ, et une dynamique *f,* qui donne le prochain état du système étant donné son état actuel et l'input. Dans le cas d'une dynamique en temps discret, nous pouvons alors écrire (nous reprenons les notations de Varela) :

$$f : I \times S \rightarrow S$$
$$(i, s_t) \rightarrow s_{t+1}$$

L'idée de couplage ponctuel est ici clairement apparente dans le sens où l'ensemble des inputs est prédéterminé par la fonction de transition *f,* tout comme leur mode d'action spécifique sur *S.* Le degré d'indépendance du système s'exprime par ailleurs par le fait que la fonction dépend également des états internes du système.

C'est à partir de cette définition que Varela propose, en première approche, une notion d'autonomie caractérisée par le fait qu'il n'est pas possible de donner une description en termes de couplage par input, au sens où « *les points de contact»* entre l'unité et ce qui n'est pas elle, serviraient de fil conducteur pour comprendre l'évolution de la dynamique du système. «*Lorsqu'il est question de systèmes autonomes, c'est l'inverse qui est vrai :* les transformations internes *sont le fil conducteur qui nous permet de comprendre la dynamique du système, les points de couplage n'interviennent que dans la mesure où certains événements imprévus ou circonstances nous aident à mieux comprendre tel ou tel chemin particulier de transformations ».* C'est à partir de cette remarque que Varela propose de voir les points de couplage comme « *des agents de perturbations, plutôt que comme des inputs »*.

La différence entre ces deux visions est qu'un input spécifie la seule façon dont une transformation d'un état donné du système peut avoir lieu, alors que la perturbation ne spécifie pas le système, elle ne prend en compte que son effet sur la structure de celui-ci. C'est ce qu'il appelle « *couplage par clôture* ». Ainsi, Varela précise cette idée en proposant de voir la dynamique interne sans considérer d'inputs :

$$f : S \rightarrow S$$
$$s_t \rightarrow s_{t+1}$$

le système fonctionnant sur ce mode de façon continue jusqu'à ce qu'intervienne une perturbation ayant pour effet de déplacer l'état du système *et* la dynamique interne vers une nouvelle configuration :

$$f+\delta f : S \rightarrow S$$
$$s_t+\delta s_t \rightarrow s_{t+1}$$

Ici, « *les perturbations permises sont définies par la structure du système, en ce qu'elles peuvent être* n'importe quoi qui *conduise à une transformation d'état et/où de dynamique* ».

Ainsi, nous pouvons définir l'autonomie par la capacité d'un système à résister à une série de perturbations tout en gardant une certaine cohérence interne. Par exemple, notre corps biologique est un tel système puisque son apparence et son fonctionnement sont conservés au cours du temps (du moins si nous ne considérons pas des échelles de temps trop grandes) malgré les multiples perturbations extérieures et transformations qu'il subit en son sein. C'est ainsi que Francisco Varela énonce ce qu'il présente comme le cœur de son argumentation : «*Tout comportement auto-organisé est engendré par la diversité de la cohérence interne d'un système opérationnellement clos.* »

La grande différence entre ces deux approches, couplage par input et couplage par clôture, est que dans le premier cas, ce sont des éléments extérieurs aux systèmes, évoluant dans un espace prédéfini, qui déterminent les changements qualitatifs possibles de la dynamique du système ; dans le deuxième cas, le fonctionnement normal du système est déterminé de manière interne, et c'est la *structure* du système qui peut être modifiée par une perturbation, dans n'importe quelle direction possible dans la limite des contraintes physiques du système.

Dans cette partie, nous allons développer l'idée qu'il est possible de concevoir des collectifs d'entités en interaction tels que, selon que l'on se place au niveau des entités ou du collectif, les dynamiques pertinentes prennent deux aspects distincts, la première se plaçant entre le couplage par input et le couplage par clôture, la deuxième appartenant à une catégorie très particulière de couplage par clôture. Le collectif d'entités pourra alors être vu comme un système auto-organisé au sens « fort » du terme.

Soit S un système, I l'ensemble des espaces possibles d'inputs (compatibles avec la physique de l'environnement) et Φ l'espace des dynamiques possibles sur S (i.e. l'ensemble des fonctions possibles $f : I_f \times S \rightarrow S$ avec $I_f \in I$), nous voudrions définir, moyennant un invariant que nous préciserons, les deux types de dynamique suivants :

Dynamique 1. : Point de vue de l'individu[54]

$$\Phi \times I_f \times S \rightarrow \Phi \times S$$

$$(f, i_t, s_t) \rightarrow (g, s_{t+1}) \text{ , } i_t \in I_f$$

ce qui veut dire que la transition suivante sera du type :

$$\Phi \times I_g \times S \rightarrow \Phi \times S$$

$$(g, j_{t+1}, s_{t+1}) \rightarrow (h, s_{t+2}) \text{ , } j_{t+1} \in I_g$$

Cette dynamique diffère du couplage par input de deux manières. Premièrement, la forme fonctionnelle de la dynamique globale peut changer, le système peut passer *spontanément* et de manière discontinue, d'une dynamique déterminée par une fonction f, à une dynamique déterminée par une fonction g, *sans* l'effet d'une perturbation. Bien sûr, si l'espace des dynamiques possibles est petit, on pourra toujours objecter que cela est équivalent à dire que f et g sont en fait les composantes d'une super fonction qui serait la réelle dynamique du système. Cependant, si l'espace des dynamiques possibles est très grand, voire même ouvert, cette conception ne sera plus possible car cela serait doter le système d'une information quasi-infinie.

Deuxièmement, et c'est une conséquence du premièrement, l'espace des inputs peut être amené à changer. Cela veut dire qu'il y a des choses qui étaient pertinentes pour le système avant la transition et qui ne le sont plus après, et vice versa. Encore une fois, si l'espace I des espaces d'inputs possibles est limité, il sera toujours possible de dire que le système ne fait qu'ouvrir et fermer certaines entrées au cours d'une transition. En revanche si l'espace I est très grand, comme c'est le cas dans le monde réel, nous ne pourrons plus considérer que les inputs préexistent car cela supposerait que le système contienne une information quasiment infinie. Ainsi, l'idée est ici qu'un système peut construire au cours

[54] Nous donnerons une formulation plus rigoureuse de ces dynamiques en *III.1.C.f.*

de son évolution ses propres définitions d'entrées pertinentes (ce qui reste très proche de la conception de l'énaction[*] que propose Varela).

Cette dynamique diffère du couplage par clôture par le fait que les inputs sont ici bien apparents, et nous verrons qu'ils jouent un rôle déterminant dans la transition du système.

Dynamique 2) : Point de vue du collectif

$$\Phi \times S \rightarrow \Phi \times S$$

$$(f,s_t) \rightarrow (g,s_{t+1}) \text{ avec } f \subset s_t \text{ et } g \subset s_{t+1}$$

Cette dynamique est différente du couplage par input par l'absence d'inputs. Elle est un cas très particulier de couplage par clôture puisque la dynamique du système fait partie de la description de l'état du système : la dynamique du système peut changer sans l'effet de perturbations extérieures. Nous verrons au *III.3.C.c.v* comment nous pouvons envisager des catégories très distinctes de perturbations pour ce type de dynamique.

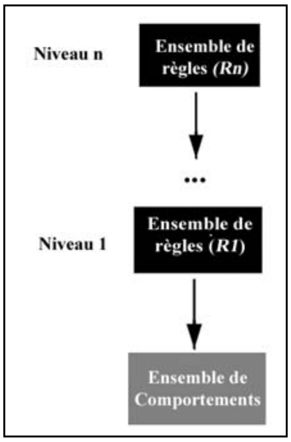
[*] L'énaction : action d'un processus historique qui fait émerger des régularités sans contrainte de finalité arrêtée (Varela 1988)

III.1 Une approche formelle des systèmes mimétiques

III.1.A. Être sa propre métarègle

La solution du problème que tu vois dans la vie, c'est une manière de vivre qui fasse disparaître le problème.

Wittgenstein

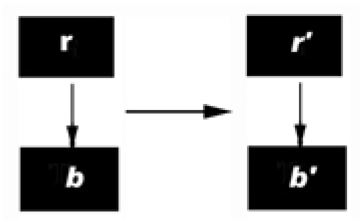


Nous avons vu dans la partie *I* un type d'organisation systémique assez particulier puisque les entités de ce système peuvent être décrites comme une hiérarchie de règles (voir ci-contre). La question de savoir s'il existe d'autres types d'organisation, bien que très importante, ne sera pas centrale dans notre argumentation et par ailleurs, mériterait plus d'attention que nous pouvons lui accorder ici. Nous la laissons pour de futures réflexions.

Nous limiterons ici l'étude à une certaine classe de systèmes pouvant être vus comme des collectifs de sous-systèmes, dont la dynamique procède par cascades de contrôles successifs. Dans ces sous-systèmes hiérarchisés, chaque niveau sera défini par une règle qui, étant donné l'état du système et un espace d'inputs, détermine une dynamique sur les états possibles du niveau inférieur. Par ailleurs, nous ne traiterons ici que des systèmes décrits par une chaîne unique, pour des raisons de clarté et de simplicité de l'exposé. Nous garderons seulement à l'esprit que les contenus des différents niveaux pourraient tout aussi bien être des ensembles de règles agissant les unes sur les autres.

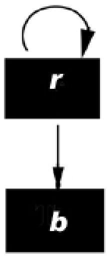
Nous désignerons sous le terme *d'agents* (niveau de l'individu) les sous-systèmes, réservant le terme d'individus aux cas où nous parlerons des systèmes sociaux réels. L'état d'un sous-système, peut être décrit par un n-uplet $s=(b,r_1,\dots r_n)\in S$, où b est un comportement ou une sortie du système et où les r_i sont les règles des différents niveaux, qui ont leurs espaces d'inputs propres. S sera l'espace des états possibles du système. Ceci étant, si nous traduisons dans ces termes la dynamique *1* décrite à la fin du chapitre précédent, nous voyons qu'il s'agit de formaliser une transition du type : $s=(b,r_1,\dots r_n)\rightarrow s'=(b',r'_1,\dots r'_n)$ où les éléments du deuxième n-uplet peuvent éventuellement être *tous* différents des éléments du premier.

Le changement d'une règle à un de niveau intermédiaire ne pose pas *a priori* de problème théorique, il peut s'effectuer sous l'action des métarègles du niveau supérieur. Nous en avons rencontré un certain nombre d'exemples dans la partie *I*. L'essentiel du problème est de formaliser une transition de dernier niveau. Il suffit donc pour notre réflexion de commencer par considérer des systèmes *S* qui n'ont qu'un niveau de règle et dont la description minimale peut s'écrire (*b,r*). Notre tâche est maintenant de donner du sens à une transition de type :



(les flèches verticales indiquent la relation « agit sur »)

avec *r' différente r.* Étant donné que le niveau des comportements n'est qu'un argument des règles de niveau *1*, si la règle *r* a été modifiée, ce ne peut être que sous l'action de *r* elle-même. Ceci revient donc à essayer d'envisager un schéma du type suivant :



Mais comment imaginer que la règle *r* se transforme elle-même en une règle *r'* sans dire que *r'* était déjà dans la description de *r* ? C'est nous semble-t-il l'argument principal d'Ashby.

Pour contourner la difficulté, nous pourrions, comme Ashby, recourir à un degré de liberté encore non utilisé : les inputs de *r*. La question que nous aimerions poser maintenant est : peut-on donner un sens au fait de dire que *r'* provient des inputs de *r,* tout en préservant une certaine autonomie de la dynamique du niveau où se trouve *r* ? En gardant l'idée, contrairement à Ashby, que *r* est la *cause* de son propre changement.

Dire que *r* devient *r'* peut s'interpréter par le fait que notre système *s* est capable d'identifier dans son environnement quelque chose, *r'*, à laquelle il prête le même rôle que ce qu'il perçoit chez lui comme étant *r,* et qu'il est capable de copier et de substituer à *r*. Si nous imaginons que l'environnement de notre système *s* est constitué d'autres systèmes du même type, le comportement que nous venons de décrire s'interprète naturellement en terme d'imitation. Ce phénomène de substitution de certaines propriétés d'un agent par celles d'un agent voisin est d'ailleurs assez proche de ce que nous avons pu voir dans la présentation du modèle de Nowak et May (*cf. I.2*).

Mais il n'est certainement pas suffisant de dire que nous avons affaire à un processus d'imitation. Imaginons que notre système *s* soit entouré de dix autres ; dire que *s* est mimétique ne dit absolument pas comment *s* va évoluer, car il reste le problème de savoir *quand s* s'engagera dans un processus d'imitation et *lequel* de ses voisins il va choisir d'imiter.

Nous ne pouvons résoudre ce problème en ajoutant un critère supplémentaire de choix, comme par exemple le fait que *s* choisit un modèle au hasard ou imite en fonction des fréquences. En effet, si cette règle était externe à *s,* nous pourrions remettre en question l'idée d'une autonomie de *s*. Par ailleurs, considérer un troisième niveau dans *s* incluant la description de cette règle est d'emblée exclu puisque *(b,r)* est la description minimale de notre système.

Cette fois-ci, la seule possibilité que nous ayons pour définir le choix du modèle, est de considérer que celui-ci est déterminé par *r* elle-même et par conséquent, que *r* est en fait une règle d'imitation. Ainsi, si *r* est amenée à changer de nature, cela sera uniquement sous sa propre impulsion et *selon ses propres critères*. En ce sens, *r* sera la cause de son propre changement. Il nous reste donc à montrer qu'il existe une conception de l'imitation telle que les règles d'imitation aient la possibilité d'être leur propre métarègle. Pour bien comprendre comment cela est possible, il va nous falloir préciser ce que nous appelons règle d'imitation, en tirant parti de ce que nous avons évoqué dans la partie *II*.

Pour conclure cette section, insistons sur le fait que *nous allons désormais limiter notre étude aux systèmes mimétiques*, dont nous allons tenter de montrer qu'ils sont une approche intéressante de certains phénomènes émergeants au sein des systèmes sociaux. Ils ne correspondront néanmoins qu'à une certaine composante, qui devra être associée aux composantes déjà étudiées, telles que l'apprentissage individuel ou les autres formes d'apprentissage social, pour former une théorie générale des systèmes sociaux.

III.1.B. La méta-cognition et la réflexivité dans une définition de l'imitation

III.1.B.a. Le problème du critère d'imitation

Commençons par une définition très intuitive de l'imitation qui va nous servir d'ébauche pour une définition plus précise. Considérons deux agents, *O (sujet observant)* et *M (modèle),* impliqués dans une même activité, par exemple jouer au tennis. Supposons que *O* observe de manière récurrente que *M* est meilleur que lui, d'après l'idée qu'il se fait de cette activité. Alors *O* cherchera à en connaître la raison, et s'il en arrive à prêter le succès de *M* à un trait *T* que *O* peut s'approprier, comme par exemple suivre un régime alimentaire spécifique ou posséder un certain type de chaussures, il y a de fortes chances pour que *O* imite *M* en cherchant à acquérir cette propriété pour en éprouver les effets. Dans ce cas-là, l'intérêt de *O* pour *T* n'est pas direct, il est suscité par le fait que *M* possède ce trait*,* d'après le succès que *O* prête à *M* dans sa lecture personnelle des événements du monde. Nous retrouvons ainsi la structure triangulaire typique de l'imitation (Figure 23), Sujet-Modèle-Trait, largement étudiée, quoique avec une approche différente, par René Girard[55] (1961).

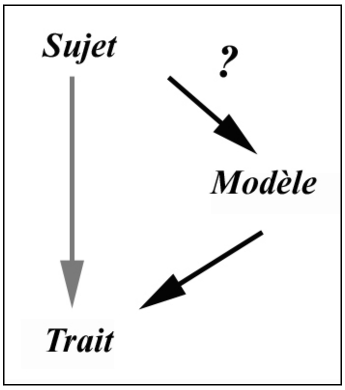


Figure 23 : Le triangle est la figure typique d'un acte d'imitation. L'intérêt d'un sujet pour un trait n'est pas direct mais indirect, il passe par l'intermédiaire d'un modèle. La question est alors : comment le sujet choisit-il son modèle ?

[55] Dans la terminologie de Girard, ce triangle est appelé Sujet-Médiateur-Objet. Nous avons préféré les termes de modèle et de trait aux termes médiateur et objet, car ce sont ceux les plus couramment utilisés par la littérature de la modélisation de l'imitation. Par ailleurs, comme nous allons le voir, la signification du terme trait ne recoupe que partiellement celle d'objet.

L'imitation procède donc en trois temps[56] :

1) choix d'un modèle, selon un certain critère qui appartient *au sujet*, au cours d'un acte d'observation,
2) sélection d'un trait qui appartient *au modèle* et dont le sujet pense qu'il participe à la satisfaction de ce critère,
3) tentative de la part du sujet de copier le trait.

Ces trois étapes suggèrent plusieurs caractéristiques de l'imitation. La première est que le choix du modèle n'est pas une fonction du trait particulier qui sera imité, puisque celui-ci n'est pas nécessairement connu à cette étape, mais d'un *critère général* lui permettant d'évaluer les individus, qui reflète les buts ou les intentions du sujet. De plus, le sujet ne s'engagera dans un acte d'imitation que s'il estime que le modèle est meilleur que lui sur l'une des dimensions couvertes par ce critère. Cela nécessite donc une comparaison réflexive du sujet entre le modèle et lui-même, au regard de ce critère.

La seconde caractéristique est que le sujet doit identifier certains traits chez son modèle potentiel et inférer celui ou ceux dont il pense qu'il(s) participe(nt) à son évaluation positive du modèle. Cette étape sera donc favorisée par les capacités du sujet de catégorisation et de réflexion sur ces différentes catégories. Ceci requiert en particulier des capacités méta-cognitives et reflexives.

Enfin, la troisième étape met en jeu les capacités d'apprentissage individuel du sujet à partir d'un modèle.

Les éléments de la première et seconde étape ont été largement étudiés dans la littérature en psychologie sociale et cognition sociale[57], en ce qui concerne la comparaison de performances (voir par exemple Jager 2000* Ch. 5 ou Butera & Muller 2004 pour une approche générale) ou la catégorisation et les processus d'inférence (voir par exemple l'ouvrage très complet de Fiske et Taylor 1991). La littérature est encore plus fournie du côté de la dernière étape puisque celle-ci recouvre tout aussi bien les sciences sociales que les sciences dites « dures » comme l'intelligence artificielle ou la robotique.

[56] Un découpage similaire se retrouve par exemple dans Frank 2003 : « Imitation occurs in three steps: (1) an economic agent (the imitator) somehow observes the trait of another agent, (2) the imitator decides that the trait is valuable and worthy of imitation, and (3) the imitator attempts to accurately copy the trait.”

[57] Au sens des psychologues c'est à dire l'étude de la manière dont les gens voient les autres et se voient eux-mêmes.

Une seule chose n'est que très rarement abordée ou le plus souvent esquivée dans la littérature : la question de l'origine du critère d'évaluation qui définit les buts du sujet. Ainsi par exemple, dans un chapitre prospectif de conclusion, Fiske et Taylor (1991, p 555) insistent sur le fait que la multiplicité des buts possibles des agents sociaux est souvent ignorée :

> [..] the social perceiver is viewed primarily as a thinker, motivated to understand and predict the environment fairly efficiently, where possible. Other motives and goals are too often ignored. But people have other goals that differ from sheer understanding for its own sake. For example, what about the moral person? Sometimes the people are motivated to think about the just, the proper, or fair judgment to make rather than the most efficient first approximation. Beside the moral person, there is the public person, who worries about saving face. There is also the amusing person, whose goal is to entertain the self or others […], there is the altruistic person, who thinks about the others in order to help them, no to understand, predict or control them. And there is the antisocial person, who thinks about others in order to hurt them.
>
> This list could go on, but an exhaustive taxonomy of possible goals simply is not useful. The more important point is that cognition serves many masters, and efficient or accurate understanding is only one of them.

Cette préoccupation est à rapprocher du problème de la prise en compte de l'hétérogénéité des buts des individus dans le cadre de la modélisation des systèmes économiques et sociaux que nous avons rencontré dans la partie *I* (Ahn et al. 2001, Fehr &Fischbacher 2003, Dal Forno et Merlone 2004, Henrich et al. 2001., Offerman et al. 2001, Sonnemans et al. 1999). Mentionnons brièvement qu'elle se retrouve également chez les neurobiologistes cherchant à rendre compte des processus de décision. Ainsi par exemple, Damasio (1995, p. 235), après avoir dressé un portrait des mécanismes neurologiques de prise de décision en fonction de ce qui est avantageux, reconnaît que ce modèle n'est complet que dans la mesure où les décisions en question portent sur des conditions aux limites du fonctionnement normal de l'individu, celles pour lesquelles le critère a toutes les chances d'être homogène dans la population :

> Je sais bien qu'il n'est pas facile de définir ce qui est avantageux et je me rends bien compte que certaines solutions peuvent être considérées comme avantageuses par certains, mais non par d'autres. Par exemple, devenir millionnaire n'est pas nécessairement bon, et on peut en dire autant du fait de gagner des prix. Tout dépend de nos cadres de référence et des buts que nous cherchons. Lorsque je parle d'une décision avantageuse, je vise des données fondamentales dans les domaines personnel et social, tel que la survie de l'individu et sa famille, la possession d'un domicile, la préservation de la santé physique et mentale, la possession d'un emploi et d'un revenu, et la reconnaissance sociale dans un milieu donné.

Le problème de la détermination du critère d'évaluation dans les processus de décision, y compris lorsqu'il s'agit d'imitation, est donc le moins bien traité dans la littérature. A notre connaissance, il n'y a en sciences sociales aucun modèle qui ne considère ce problème comme déjà résolu, hormis les modèles inspirés de l'évolution génétique, qui posent les problèmes évoqués au *I.3.C.c*. Nous nous attacherons désormais à montrer qu'il est possible de proposer un modèle des phénomènes mimétiques, compatible avec les capacités cognitives humaines, qui permet de traiter précisément cette question. Pour cette raison, nous ne chercherons pas à rendre compte des autres aspects de l'imitation (catégorisation, inférence, exécution et apprentissage). Ceux-ci feront l'objet le plus souvent *d'hypothèses par défaut*, dont le caractère insatisfaisant ne fera que souligner la complémentarité de notre proposition avec les théories existantes.

Nous utiliserons par ailleurs sans grande distinction les termes de buts, objectifs ou motivations. Bien que des définitions précises existent les distinguant, les rapports entre celles-ci diffèrent d'une discipline à l'autre. Par ailleurs, nous ne pensons pas que cet abus de langage nuise particulièrement à la compréhension de notre propos. Nous garderons donc volontairement cette sous-catégorisation, en nous excusant auprès de certains lecteurs qui voient dans ces distinctions l'art d'une discipline.

Le modèle que nous allons proposer sera compatible avec l'imitation humaine, ce qui ne veut pas dire qu'il décrit ce qui est effectivement réalisé. Il y a d'ailleurs peu de chances que ce soit le cas. Cependant, comme nous allons le voir, les systèmes mimétiques que nous proposons ont la propriété de clôture opérationnelle et en ce sens, nous pouvons espérer que la classe de modèles à laquelle ils appartiennent possède des propriétés proches de celles que nous pouvons observer au sein des systèmes sociaux humains.

III.1.B.b. Définir les règles d'imitation

> Les Allemands étaient particulièrement malheureux, leur politique étant de voter comme les Britanniques pour tout ce qui concerne Israël (les Britanniques, eux, suivent généralement les Etats-Unis). Les Européens de l'Est n'étaient pas moins perplexes. Généralement, ils votent comme l'Europe si celle-ci a une position unique. Dans le cas contraire, ils sont livrés à eux-même ou au téléphone portable qui les relie à leur capitale.
> Les Européens, unis, votent le soutien à Arafat, Le Monde du 22 septembre 2003

Nous venons de voir dans la partie *II* que la méta-cognition et la réflexivité constituent deux caractéristiques de la cognition humaine. Nous tâcherons de montrer dans cette sous-section comment ces deux caractéristiques peuvent nous aider à proposer une définition formelle de l'imitation qui apporte une solution à la détermination du critère d'imitation, tout en répondant aux problèmes que nous nous sommes posés à la fin du chapitre *III.1.A*. Pour ce faire, nous allons considérer un système constitué de plusieurs agents mimétiques interagissant (le modèle de Nowak et May présenté dans la partie *I*, est un exemple de tels systèmes).

Commençons par revenir sur la notion de trait que nous avons évoquée précédemment. Nous sommes capables d'imitation parce que nous percevons chez les autres des choses qui les caractérisent et que nous sommes en mesure de nous approprier (au sens large du terme). Les éléments pouvant entrer dans la description d'un individu seront appelés *trait*s et leur ensemble sera noté T. Nous allons être amenés à faire la distinction entre ce que nous allons appeler *traits modifiables* et *autres traits*[58] :

- Les *traits modifiables* de l'individu sont ceux que celui-ci peut changer de sa propre volonté. C'est le cas par exemple des vêtements que l'on porte, de l'attitude amicale ou agressive envers quelqu'un, du parti politique que l'on décide de soutenir, des stratégies de jeu, de la règle d'apprentissage utilisée pour une tâche donnée, etc. Ils se regroupent ainsi en diverses catégories et l'ensemble des traits modifiables d'un agent i peut être représenté par un *n-uplet* $s_i \in S \subset T$ des choix de i pour les différentes catégories de traits (opinion politique, couleur de chemise, etc..). *Cet ensemble est l'équivalent de ce qui est appelé stratégie en théorie des jeux,* avec, comme nous le verrons, la particularité qu'il n'y a pas de distinction

[58] Le terme de traits est emprunté à la littérature de modélisation des phénomènes culturels et à une partie de la littérature économique anglo-saxonne.

entre stratégie et méta-stratégie. Nous aurons recours à ce second terme lorsque cela sera pertinent.

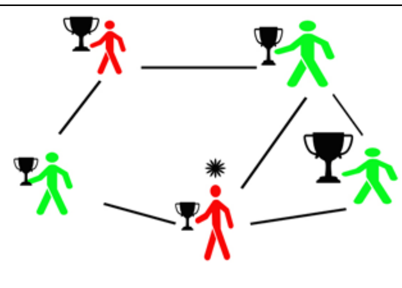
L'ensemble des stratégies ou des *n-uplet* de traits modifiables sera noté S. Nous noterons $K(S)$ l'ensemble des catégories de traits modifiables. Par exemple, dans la description du jeu du dilemme du prisonnier que nous avons donnée dans la partie *I*, la stratégie des joueurs (C ou D) est un de leurs traits modifiables (le seul dans le modèle de Nowak et May). L'ensemble des stratégies possibles $\{C,D\} \in K(S)$ est alors une catégorie de traits modifiables.

- Les *autres traits*, à l'inverse, sont ceux qui ne dépendent pas de la seule volonté de l'individu. Ils dépendent de dynamiques plus complexes, voire impliquent d'autres acteurs. C'est le cas par exemple de la position sociale, la fortune, la réputation, l'âge, etc. Par exemple, dans la description du jeu du dilemme du prisonnier que nous avons donnée dans la partie *I,* le gain g_i d'un joueur est un *autre trait*.

Nous allons donc considérer des agents mimétiques qui seront définis par un *n-uplet* τ dont les premières composantes seront les traits modifiables des agents, que nous désignerons comme étant leur stratégie, et les dernières composantes seront les autres traits de l'agent (ses gains, sa réputation, etc.). Par exemple, dans le modèle de Nowak et May, un agent i est défini par $\tau_i=(s_i,g_i)$ où $s_i \in \{C,D\}$ et où g_i est un réel.

L'imitation nécessite l'observation d'un modèle par un sujet, ce qui suppose un espace physique déterminant des relations de proximité. Nous considérerons donc que les agents prennent connaissance des traits définissant leurs voisins à travers leur environnement et le réseau social dans lequel ils sont insérés. L'ensemble des agents desquels un agent i donné peut inférer une partie des traits sera appelé le *voisinage* de l'agent (Γ_i) et l'ensemble des traits que i peut percevoir sera appelé *traits perçus* de l'agent et noté $T_{p,i}$ *(*Figure 24*)*. De même que nous avons fait une distinction entre les traits modifiables et les autres traits, nous allons particulariser dans nos notations, l'ensemble des traits modifiables effectivement perçus par un agent i *(*qu'il pourra éventuellement chercher à copier).

Figure 24 : Exemple de voisinage. L'agent désigné par une étoile a trois voisins, dont il perçoit la couleur des vêtements (trait modifiable et la taille de la coupe (ou les gains, autre trait).



Nous noterons $\sigma_i=\{s_k,k\in\Gamma_i\}$ l'ensemble des traits modifiables (ou stratégies) que peut observer l'agent *i* chez ses voisins (dans l'exemple ci-dessus la couleur des vêtements des trois voisins et de l'agent), et $\sigma=(s_1,....,s_N)$ l'ensemble des stratégies dans la population. En reprenant les notations de la théorie des jeux, nous noterons s_{-i} le *(N-1)-uplet* constitué des stratégies de tous les agents, *i* excepté.

Ainsi, à un moment donné, si $\sigma=(s_1,....,s_N)$, $s_{-i}=(s_1,..., s_{i-1},s_{i+1},...,s_N)$. Ceci permet de reprendre la notation $\sigma=(s_i,s_{-i})$ où (s_i,s_{-i}) est le *N-uplet* $(s_1,....,s_N)$. Nous pourrons comparer ainsi les valeurs prises par une fonction sur deux états distincts de la population, (s_i,s_{-i}) et (s_i',s_{-i}), ce qui reviendra à comparer les valeurs de cette fonction sur $(s_1,..., s_{i-1},s_i,s_{i+1},...,s_N)$ et $(s_1,..., s_{i-1},s_i',s_{i+1},...,s_N)$.

De la même manière, nous noterons $\tau_{-i}=\{\tau_k, k\in\Gamma_i, k\neq i\}$ l'ensemble des traits que peut observer *i* chez ses voisins (sur la Figure 24, la couleur des vêtements et la taille des coupes des trois voisins). $(\tau_i, \tau_{-i})\in T_{p,i}$ sera l'ensemble des traits que perçoit *i* dans son voisinage.

Par exemple, dans le modèle de Nowak et May les voisinages sont définis comme étant les huit cellules adjacentes d'une cellule donnée, et chaque agent peut percevoir à la fois les gains et les actions de ses voisins tout comme ses propres gains et ses propres actions. L'ensemble des traits perçus par un agent dans ce modèle est un élément de l'ensemble $(\{C,D\}\times\Re)^9$ et pour un agent *i*, $\sigma_i\sim\{C,D\}^9$. Par ailleurs, $\sigma\sim\{C,D\}^N$ où *N* est le nombre de joueurs. De même $\tau_i=(s_i,g_i)$ (la stratégie de l'agent et son gain) et $\tau_{-i}\in(\{C,D\}\times\Re)^8$

On remarquera que les voisinages peuvent éventuellement être catégorisés en sous-voisinages en fonction de la nature des traits perçus. Par exemple, Boyd et Richerson (1985) considèrent différents types de transmission culturelle en fonction de sous-voisinages indexés sur l'âge et le lien de parenté : transmission verticale de parents à enfants, oblique entre individus non apparentés de générations différentes, horizontale entre individus de même génération.

9

D'où viennent les critères d'imitation ?

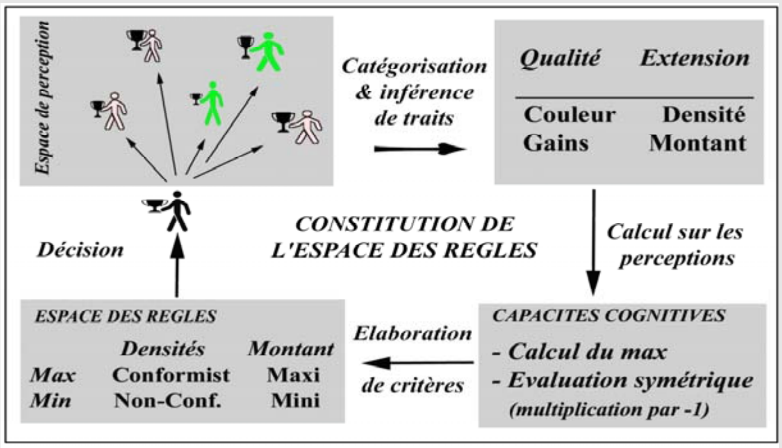
Lors des discussions qui vont suivre, nous nous efforcerons de prendre le point de vue de l'agent, la question étant : comment l'agent donne du sens à ses actions et à ce qu'il perçoit ? Nous envisagerons notamment les comportements sociaux comme le résultat d'une construction de significations à partir d'un ensemble de perceptions. L'ensemble des critères d'imitation (*cf. III.1.B.a*) devra être le résultat d'une telle construction. Nous commencerons donc par nous donner un espace de perception, c'est-à-dire un ensemble de traits pouvant être utilisés par l'agent lors d'une description du monde. Cet ensemble de traits, que nous considérerons ici comme donné, résulte déjà d'une catégorisation sur les perceptions.

Pour reprendre un exemple proposé par Serge Galam (1998), imaginons un univers très simple où des agents n'interviennent dans le monde qu'à travers le choix de la couleur de leur chemise : rouge ou verte. Imaginons également que ces choix déterminent pour chaque agent, en fonction de la configuration de son voisinage, la valeur d'une quantité qui lui est propre (par exemple des gains). Les états de ce monde élémentaire sont alors décrits par les couleurs de chemises et les gains des agents. Les types d'états physiques du monde que les agents seront capables d'envisager dépendront donc de leurs capacités à inférer, puis à catégoriser ces traits chez leurs voisins.

Faisons, par exemple, l'hypothèse que des agents très simples perçoivent des densités de couleur et les montants des gains de leurs voisins. Pour définir des critères d'imitation, il est nécessaire que les agents puissent effectuer des calculs sur ces perceptions. Ce n'est donc qu'après avoir doté les agents d'un ensemble d'opérateurs sur leurs percepts, que nous pourrons engendrer l'espace des critères possibles pour l'imitation. L'ensemble des critères possibles sera alors le fruit de l'action d'un ensemble d'opérateurs sur un ensemble de percepts.

Remarquons que ces deux ensembles sont nécessairement exogènes dans le cadre d'une modélisation. Les contraintes minimales que nous puissions formuler sont qu'ils soient compatibles avec les capacités cognitives humaines et reflètent une certaine phénoménologie.

Par exemple, dans le cas minimal exposé ci-dessous, des agents sont capables d'inférer les densités de couleurs et les gains dans leur voisinage, pour obtenir des valeurs réelles. Ils peuvent ensuite sur ces valeurs, trouver le *maximum* ou les multiplier par *–1*. Ceci engendre de manière exhaustive quatre critères qui serviront à définir des règles d'imitation (voir *III.2.C.b* pour un exemple), telles que le *conformisme*, *l'anticonformisme*, l'imitation du voisin le plus riche (*maxi*), ou de celui dont les gains sont les plus faibles (*mini).*



Nous conclurons par deux remarques. Premièrement, l'activité sémiotique elle-même - extraction de traits pertinents, de construction de critères, puis de procédures d'actions - dans la mesure où les agents sont capables de l'inférer chez les autres, comme c'est le cas pour l'espèce humaine, est susceptible d'enrichir l'espace de perception, et donc l'espace des critères possibles, dans une construction récursive. Deuxièmement, l'adoption d'un critère détermine l'ensemble des choses qui font sens pour un agent, deux agents ayant des critères différents ne s'intéresseront pas aux même percepts, et n'attribueront pas la même signification à un même événement.

Dans ce système constitué d'agents artificiels il va maintenant falloir nous donner une définition opérationnelle d'imitation. Étant donné que nous cherchons à étudier de manière stylisée les phénomènes mimétiques, nous exclurons dans notre approche toute forme de décision ne relevant pas de l'imitation. Tout processus de décision sera donc avant tout la donnée d'un critère d'imitation, celui-ci représentant les buts ou les intentions de l'agent (par exemple gagner le plus au jeu, avoir des échanges équitables, avoir du prestige, etc.). En reprenant les trois étapes de l'imitation identifiées en *III.1.B.a,* nous définirons les règles d'imitation de la façon suivante :

Définition : *Règle d'imitation* $r : T_{p,i} \rightarrow S$

Une règle d'imitation, appliquée par un agent *i*, est composée des éléments suivants :

1) Une fonction de valuation : $v_i : T_{p,i} \rightarrow \Re^{|\Gamma_i|}$. Celle-ci est le critère en fonction duquel un agent *i* choisit d'imiter, c'est sa définition de « meilleur ». Cette fonction assigne un gain à chaque agent dans le voisinage Γ_i de *i* qui détermine le succès que *i* leur attribue. Lorsqu'il n'y aura pas d'ambiguïté, nous noterons $v_i(s_k,s_{-k})$ la $k^{ième}$ composante de v_i, c'est à dire le gain attribué par l'agent *i* à la stratégie $s_k \in \sigma_i$ de l'agent $k \in \Gamma_i$, lorsque l'état de la population est $\sigma=(s_k,s_{-k})$ (il y a dans σ des seconds voisins de *i*, que *i* ne voit pas mais qui peuvent avoir une influence sur les gains de ses voisins).

2) Une fonction sélection $\Lambda : T_{p,i} \times \Re^{|\Gamma_i|} \rightarrow K(S)$. Celle-ci sélectionne parmi les agents de score maximal la catégorie de trait pertinente pour l'imitation. Cette fonction inclut notamment un processus d'inférence qui peut faire l'objet d'un apprentissage (voir également encart *11*)

3) Une fonction de modification : $M : T_{p,i} \times \Re^{|\Gamma_i|} \times K(S) \rightarrow S$. Celle-ci modifie la stratégie s_i de *i* en changeant son trait modifiable de la catégorie désignée en fonction de ce que l'agent voit chez les voisins qu'il considère comme les meilleurs. Cette fonction peut aller de la simple copie au rapprochement « en direction de » dans le cas de traits définis par une variable continue.

Nous avons $r=M(Id,v_i,\Lambda(Id,v_i))$ où *Id* désigne l'identité. La règle *r* utilisée par un agent *i* s'appliquera aux traits perçus par l'agent *i*, *i.e.* $(\tau_i, \tau_{-i}) \in T_{p,i}$.En utilisant les notations précédemment introduite, le résultat de l'application de *r* sera noté $r(\tau_i, \tau_{-i}) \in S$

Nous noterons R l'ensemble des règles d'imitation.

L'imitation est donc ici un processus qui se produit après une observation et qui, étant donnés un critère, un agent et l'ensemble de ses traits perçus (qui sont déjà le fruit de processus d'inférences de la part de l'agent) :

1 - sélectionne un (ou plusieurs) modèle(s) dans le voisinage de l'agent,

2 - détermine une catégorie de trait modifiable pertinente,

3 - opère une modification sur le trait modifiable de l'agent correspondant à cette catégorie.

L'imitation n'est pas nécessairement un processus déterministe. En effet, imaginons que la fonction v_i désigne deux « meilleurs agents » aux stratégies en tout point différentes. La fonction de modification pourra être par exemple : « choisis l'un des meilleurs agents au hasard et modifie le traits pertinent de la catégorie désignée par Λ ». Le choix du modèle sera alors le résultat d'une variable aléatoire. Dans le cas le plus général, une règle d'imitation sera donc une variable aléatoire indexée par le voisinage de l'agent et à valeur dans l'ensemble des stratégies.

Par exemple, la définition la plus simple du conformisme est d'adopter le comportement de la majorité. La définition la plus simple de l'imitation indexée sur les gains est d'adopter le comportement d'un des agents les plus riches, etc.

Insistons sur le fait que l'imitation telle que nous l'avons définie passe par la sélection d'un modèle sur un critère général, avant la sélection du trait modifiable. Par exemple, si dans un bar un client commande un lait fraise et que, votre soif aiguisée par ce fait, vous faites la même chose, cela n'entrera pas dans le cadre de l'imitation telle qu'elle est définie ici, mais plutôt dans celui des processus d'émulation (cf. encart *6*). Par contre, nous parlerons d'imitation si un individu commande un lait fraise parce que c'est la boisson préférée de ce collègue qui a tant de succès auprès des femmes.

Deux éléments importants de l'étude de la partie *II* doivent être associées à cette définition. D'une part, les êtres humains peuvent réfléchir sur leurs propres buts, intentions ou stratégies et sont capables d'imiter les intentions, les buts ou les stratégies de leurs congénères. En particulier, cette imitation est rendue possible par le fait que les être humains sont capables d'évaluer la situation d'un individu d'après leurs propres critères, en se mettant à sa place de manière contrefactuelle (théorie de la simulation) ; d'autre part les êtres humains ont la capacité d'intégrer leurs différentes stratégies dans des cadres de raisonnement constitués de hiérarchies dynamiques de règles.

Si nous considérons ces deux éléments dans une perspective de modélisation des phénomènes mimétiques, deux nouveaux phénomènes doivent être pris en compte. Premièrement, les règles d'imitation deviennent elles-mêmes des objets cognitifs, identifiées par leur critère, et modifiables par l'intermédiaire de processus de traitements cognitifs. Elles deviennent donc des *traits modifiables* ($R \in K(S)$). Elles peuvent ainsi s'insérer dans une hiérarchie de règles au sein de laquelle elles modifient certaines règles d'imitation, et sont contrôlées par d'autres règles d'imitation. Pour cette raison, nous appellerons désormais ces règles, *règles métamimétiques.*

Mais le phénomène le plus important, est qu'à partir du moment où les règles d'imitation deviennent des traits modifiables, elles peuvent se révéler être l'élément cible d'un processus d'imitation quelconque. En particulier, *une règle d'imitation peut se trouver être l'élément à modifier de l'acte mimétique qu'elle a elle-même engendré*. Nous dirons dans ce cas, que la règle d'imitation agit de manière réflexive. La possibilité pour une règle d'agir de manière réflexive est la conséquence directe du fait que les règles d'imitation sont devenues des traits modifiables.

Ceci nous amène à définir des systèmes possédant ces deux propriétés :

Définition *: Un système métamimétique est un système tel que les hypothèses suivantes sont vérifiées :*

*H1) Les règles d'imitation sont des traits modifiables par application de métarègles (*Figure 25-*b-2).*

*H2) Une règle d'imitation peut opérer de manière réflexive en agissant sur elle-même en tant que trait modifiable (*Figure 25-*c).*

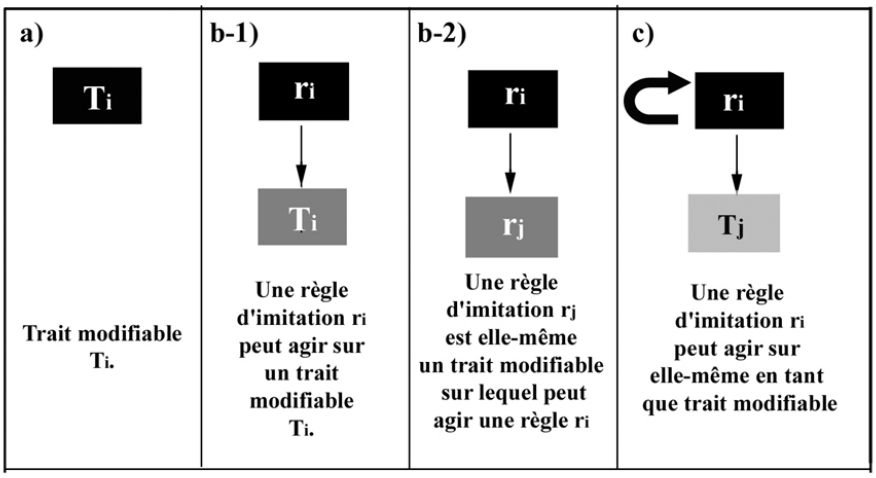
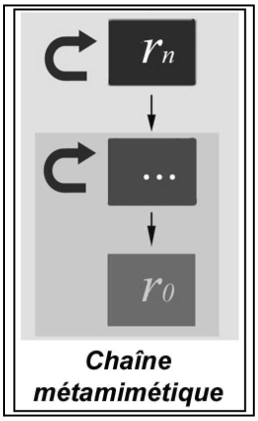


Figure 25 : Eléments et relations de base dans un système métamimétique

Les hypothèses *H1* et *H2* nous permettent d'envisager des systèmes mimétiques composés de plusieurs niveaux hiérarchisés (Figure 25-b-2). A un ensemble de traits modifiables donné, nous pouvons alors associer une *chaîne métamimétique* contrôlant leur expression. Ce type d'organisation hiérarchique est très courant en modélisation, nous en avons vu un certain nombre d'exemples en *I.3.* Cela nous amène à la définition suivante :



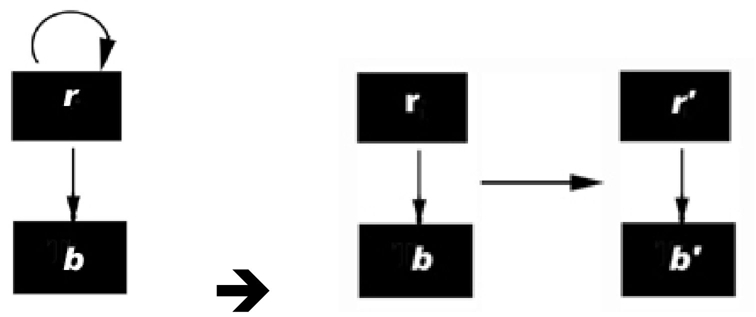
Définition : *chaîne métamimétique*

Une chaîne métamimétique est un ensemble de règles d'imitation r_i, $i>0$ organisé de manière hiérarchique à partir d'un comportement r_0 , tel qu'une règle de niveau n est un trait modifiable pour les règles de niveau n ou supérieurs. Une chaîne métamimétique à n niveaux sera notée $s=(r_0,.. r_n)$ où r_i, $i>0$ est une règle d'imitation.

Nous dirons que la sous chaîne de taille k de s est la chaîne métamimétique constituée des k premiers niveaux de s : $(r_0,.. r_k)$.

Dans le vocabulaire de la théorie des jeux, nous pourrions dire qu'une chaîne métamimétique est une stratégie organisée de manière hiérarchique. L'agent est susceptible d'en modifier certains éléments sans avoir à en modifier la totalité. Pour prendre un exemple, nous pourrions imaginer un agent économique qui, pour optimiser la rentabilité de ses investissements sur les marchés financiers (r_3=optimisation des gains), en est arrivé à la conclusion qu'il faut suivre la tendance dominante (r_2=*conformisme*), et qui, sachant que la majorité des investisseurs suivent les initiatives de Soros, imite temporairement Soros (r_1=*Imiter Soros)* en investissant dans certains placements (r_0). Si Soros perd de son prestige, l'agent changera r_1 pour un autre comportement collectif, et si l'agent en arrive à se convaincre qu'il faut au contraire éviter d'investir là où tout le monde investit, comme le modélisent par exemple ceux qui étudient le jeu de la minorité, il changera r_2 et reverra l'ensemble des traits modifiables de niveau inférieur.

Cette approche de l'imitation nous permet par exemple de donner un sens plus précis au type de transition proposé en *III.1.A.*, et de donner ainsi la réplique à Ashby. Reprenons notre exemple, si *r* est une règle d'imitation, *r* peut se transformer en *r'* si au cours d'un processus d'imitation initié par *r* s'il s'avère que le trait modifiable qui doit être modifié est *r* elle-même et que *r'* est le trait modifiable sélectionné :



Ainsi, la nouvelle règle *r'* provient bien des inputs, comme le préconise Ashby, mais la *cause* du changement est bien *r* elle-même. L'agent change sous l'influence du social, mais *d'après ses propres critères*.

D'autre part, il est tout à fait envisageable que deux agents différents soient considérés comme des modèles équivalents. Par exemple, une imitation conformiste dont le critère est d'être comme tout le monde choisira indifféremment entre deux traits adoptés par des populations majoritaires de même taille. Ceci sort du cadre de la «machine » telle qu'elle est définie par Ashby, toujours est-il qu'il devient illogique de parler d'une fonction $\gamma(t)$ qui déterminerait les valeurs de *r* et *r'* (ou de *f* et *g*, pour reprendre les notations d'Ashby). Une telle description des changements de métarègles se construit au cours de l'histoire du système et ne peut être établie qu'a posteriori. Le prochain chapitre développera plus en détails cette idée. En particulier, nous nous poserons au *III.1.C.d.* la question de savoir si le principe d'imitation est lui-même une métarègle.

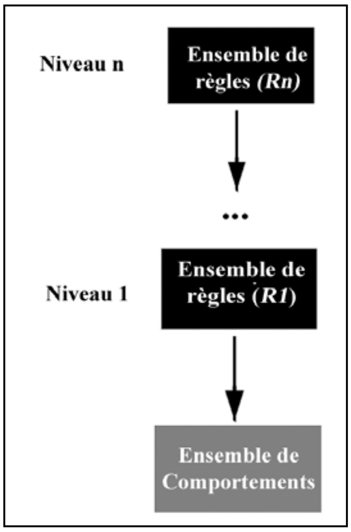
III.1.C. Le jeu métamimétique

Faisons un point sur l'état de nos réflexions :

- nous avons proposé une définition formelle de l'imitation,
- cette définition schématise certains traits spécifiques de la cognition humaine : *méta-cognition* et *réflexivité*,
- celle-ci est compatible avec les capacités cognitives humaines dans le sens où nous nous sommes capables volontairement d'imiter de la sorte,
- avec une telle définition, les règles d'imitation deviennent des traits modifiables et peuvent s'intégrer dans un ensemble de règles organisé de manière hiérarchique : une *chaîne métamimétique,*
- avec une telle définition, les règles d'imitation sont susceptibles d'être *leur propre métarègle*.

Nous seront bientôt en mesure de donner un exemple de chacune des dynamiques dont nous avons parlé en introduction (dynamique *1* et dynamique *2*) en fournissant la description d'un système tel que le fonctionnement global soit régi par la dynamique *2*, et le fonctionnement de ses sous-unités soit régi par la dynamique *1*. Pour cela, nous allons être amenés à définir une classe de systèmes métamimétiques : *les jeux métamimétiques*.

III.1.C.a Définition du jeu



Considérons une architecture d'agent décrite par une hiérarchie de règles d'imitation (une chaîne métamimétique). Le but de notre entreprise étant de proposer des schémas pour penser les systèmes sociaux, cette architecture doit être compatible avec les capacités cognitives humaines. En conséquence, une contrainte s'impose naturellement **:** *les chaînes métamimétiques doivent être bornées en taille en raison des capacités cognitives limitées des êtres humains.* Fixons donc une borne arbitraire *Bc* limitant le nombre de règles que sont capables d'enchâsser les agents. Cette borne sera appelée la borne cognitive des agents.

La valeur précise de cette borne n'a pas d'importance. Les principaux phénomènes sont l'effet de son existence. Dans le cadre d'une application, la valeur de cette borne pourrait être choisie en fonction d'une étude visant à déterminer expérimentalement la moyenne du nombre maximal de règles que des sujets humains sont capables d'enchâsser. Elle devrait être de l'ordre de trois ou quatre. Nous avons par ailleurs vu au *II.2.B.b* que la capacité de raisonner sur des règles enchâssées progresse tout au long du développement de l'enfant. Nous pourrions donc également envisager la borne cognitive comme une fonction de l'âge de l'agent.

Au niveau le plus élevé d'une chaîne, deux alternatives sont possibles. Soit nous postulons l'existence de règles fixes exogènes ou de mécanismes de régulation de type génétique, ce qui placerait les règles de dernier niveau dans la catégorie *autres traits*. C'est l'option choisie par la théorie des jeux et la théorie des jeux évolutionnistes. Cette formalisation rencontre les objections mentionnées en *I.3.* L'alternative est de postuler que les règles de dernier niveau peuvent changer au cours de la vie de l'individu. L'une des manières de modéliser un tel changement est de faire l'hypothèse que ces règles de dernier niveau sont des traits modifiables et par conséquent peuvent s'auto-modifier de manière réflexive. Nous reviendrons sur cette question au *c)*.

Ceci nous amène à proposer trois hypothèses cognitives qui vont définir une sous-classe de systèmes métamimétiques : les jeux métamimétiques.

Définition : *Jeu métamimétique*

Un jeu métamimétique est un jeu à *N* joueurs dont les stratégies sont définies par des chaînes métamimétiques. Par ailleurs, les trois conditions suivantes doivent être vérifiées :

*P1 – **Rationalité limitée** : Le nombre de méta-niveaux qu'est susceptible de considérer un joueur est borné (borne cognitive de l'agent).*

*P2 - **Méta-cognition** : A tous les niveaux, les règles d'imitation sont des traits modifiables.*

*P3 – **Réflexivité** : Une règle métamimétique est un trait modifiable pour elle-même. En cas de modification réflexive d'une règle, celle-ci est conservée dans la mesure où le changement de structure nécessaire est compatible avec la borne cognitive de l'agent. Dans le cas contraire, la règle est remplacée.*

Par rapport à ce que nous avons déjà vu, la condition *P3* nécessite quelques précisions. Pour fixer les idées, nous allons prendre pour exemple au cours de notre discussion une ébauche de ce que pourrait être un dilemme du prisonnier métamimétique (voir l'encart *10*).

10

DILEMME DU PRISONNIER MÉTAMIMÉTIQUE

Considérons *N* agents jouant à un dilemme du prisonnier avec chacun de leurs voisins, en leur opposant l'un des deux comportements : coopérer (*C*) ou faire défection (*D*). Le comportement d'un agent est le même, à une période donnée, envers chacun de ses voisins bien qu'il puisse en changer d'une période à l'autre. Lorsque deux agents jouent ensemble, ils reçoivent un gain de *R* *(récompense)* si tous deux ont coopéré, et de *P* (punition) si tous deux ont fait défection. Dans le cas où les stratégies sont différentes, le défecteur reçoit *T (trahison)*, alors que le coopérateur reçoit *S* (*sucker*). Rappelons que les conditions pour que la matrice ci-dessous représente un dilemme du prisonnier sont : $S<P<R<T$ et $S+T<2R$.

Agent B → / ↓*Agent A*	*C*	*D*
C	*(R,R)*	*(S,T)*
D	*(T,S)*	*(P,P)*

Matrice de jeu d'un dilemme du prisonnier

Considérons maintenant des agents métamimétiques. Les règles étant elles-mêmes des traits modifiables, il y a dans ce jeu deux types de traits modifiables : l'action et les métarègles ; et un autre trait : le gain. Si nous supposons que chacun des agents voit les traits de tous ses voisins, nous pouvons alors introduire des critères d'imitation indexés sur des densités de comportements ou sur les gains. Si nous considérons les fonctions de valuation les plus simples, nous obtenons les règles métamimétiques suivantes :

1 – *Maxi* : « Copie le plus riche de tes voisins ».
2 – *Mini :* « Copie le plus pauvre de tes voisins ».
3 – *Conformisme :* « Copie la majorité »
4 – *Anti-conformisme :* « Copie la minorité»

Un agent conformiste pourra par exemple se dire « la plupart de mes voisins ont joué C, donc je vais désormais jouer C car je veux faire comme tout le monde» mais aussi « la plupart de mes voisins sont maximisateurs, donc je vais désormais être maximisateur pour être comme tout le monde». De même, un agent maximisateur pourra se dire « Puisque les conformistes sont ceux qui gagnent le plus, je vais désormais faire comme tous le monde », etc. Nous allons voir que la capacité d'un agent à garder en arrière plan son but premier tout en adoptant un but temporaire (comme par exemple faire comme tout le monde *parce que* c'est un bon moyen de gagner) est liée à sa borne cognitive.

Dans la perspective d'une comparaison avec la théorie des jeux, il est important de remarquer que, dans un dilemme du prisonnier métamimétique, les agents ont des points de vue différents sur la même activité. Ils jouent donc à des jeux différents. La matrice ci-dessus est une matrice des conséquences et non une matrice des utilités.

III.1.C.b Mise à jour des traits modifiables

***Le Canard Enchaîné,* n°4329 15/10/03**

Commençons par remarquer que d'après notre définition de l'imitation, les agents ne s’engagent dans un processus d’imitation que si, après avoir observé leurs voisins, ils constatent qu'ils ne sont pas les meilleurs d'après les critères qu'ils se sont donnés. De ce fait, sous certaines conditions, il est possible que les agents n’imitent que très rarement. Dans ces cas-là, le comportement le plus fréquent dans un jeu métamimétique ne sera pas l'imitation mais la reconduction tacite des règles de comportement.

La mise à jour d'un trait modifiable n'apporte aucune nouveauté par rapport à ce qui est connu, tant que la règle d'imitation à l'origine de cette modification n’est pas au même niveau que le trait modifiable considéré. Après s'être engagé dans un processus mimétique défini par une règle de niveau k et avoir repéré un voisin strictement meilleur que lui selon ses critères, un agent peut en arriver à la conclusion qu'un trait modifiable de niveau intermédiaire $k'<k$ est à l'origine de cette différence. Il décidera alors de le changer (Figure 26).

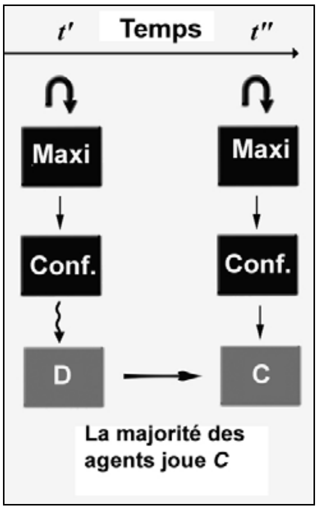


Figure 26 : Exemple de modification d'un trait modifiable de niveau intermédiaire. Un agent conformiste se rend compte que le comportement (*D*) qu'il a adopté n'est pas majoritaire dans la population. Il le change pour le comportement majoritaire (C).

En revanche, au cours d'une mise à jour réflexive, la situation est bien différente. Prenons pour fixer les idées un agent maximisateur (qui cherche à optimiser ses gains) dans un dilemme du prisonnier métamimétique (*cf.* encart n°10). Celui-ci est décrit par son comportement, par exemple *D,* et sa métarègle, *maxi.* Supposons qu'après s'être comparé à ses voisins, il constate que sa stratégie (i.e. (*D,maxi))* n'est pas la plus performante. Après réflexion, il infère (*cf.* encart *11*) que cette différence met en cause sa métarègle (par exemple, son comportement a toujours été le même que celui de son voisin, ce qui l'amène à penser que c'est peut-être la manière dont celui-ci s'adapte à son voisinage qui le rend plus performant). Supposons que le voisin qu'il considère comme étant le meilleur soit conformiste. La condition *P3* exprime que, si l'agent en a les capacités cognitives, celui-ci gardera en arrière-plan son but de maximisation des gains tout en indexant temporairement son comportement sur une règle conformiste (cas a. - Figure 27). Ceci se traduit par le passage d'une chaîne métamimétique à deux niveaux (*D,maxi*) à une chaîne à trois niveaux *(D, conformiste, maxi)*. En revanche, si la valeur de la borne cognitive de l'agent est égale à un, celui-ci substituera la règle *maxi* à la règle *conformiste (*cas b - Figure 28).

De manière générale, si un agent, après avoir pris le point de vue de sa règle de niveau *n*, infère qu'il serait bon pour lui d'adopter la sous-chaîne de taille *k* de l'un de ses voisins, trois cas de figure se présentent selon qu'il a ou qu'il n'a pas la possibilité d'absorber cette sous-chaîne tout en gardant ses buts initiaux :

a) ***Conservation de la règle initiale*** (Figure 27*)*, $Bc(i)-(|s_i(t)|-n)>k$ *:* la borne cognitive de l'agent lui permet de conserver la règle à l'origine du changement de manière à ce qu'elle puisse contrôler une structure similaire à celle identifiée chez l'agent *j*. La taille de sa chaîne mimétique devient alors $|s_i(t+1)|=|s_i(t)|-n+k$. Les objectifs définis par la règle de départ sont conservés, mais les moyens de les satisfaire sont modifiés. Ce type de mise à jour fait varier de manière endogène la taille des chaînes métamimétiques des agents.

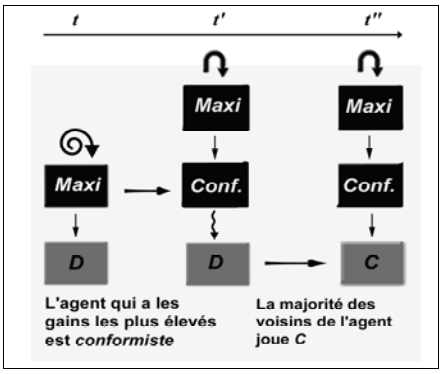


Figure 27 : Exemple d'une mise à jour avec conservation de la règle. Au temps *t,* un agent *Maxi* de borne cognitive supérieure à 2 s'aperçoit qu'un autre agent *conformiste* gagne strictement plus que tous ses voisins. Il décide donc de l'imiter au temps *t'* en prenant comme règle de comportement de niveau 1 la règle métamimétique conformiste. Il garde cependant la règle *maxi* comme règle de plus haut niveau, celle-ci passant au niveau 2. Ce changement l'amène également à revoir son comportement (de *D* à *C*) à un temps ultérieur *t''*.

b) ***Mise à jour totale*** $Bc(i)-(|s_i(t)|-n)=k$ (Figure 28) : la borne cognitive de l'agent est atteinte. Pour pouvoir adopter la sous-chaîne métamimétique visée, il lui est nécessaire de changer intégralement sa sous-chaîne métamimétique de taille *n*.

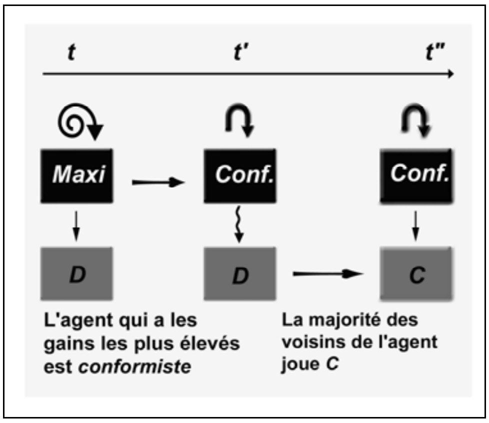


Figure 28 : Exemple de mise à jour totale. Même situation que pour la Figure 27 mais ici, la borne cognitive de l'agent est égale à un. L'agent doit donc changer totalement l'ensemble de ses buts et devenir *conformiste.*

Il reste enfin une dernière possibilité. Il se peut en effet que la stratégie utilisée par le modèle soit trop complexe pour pouvoir être copiée par l'agent. La borne cognitive de l'agent ne permet pas de copier la stratégie du meilleur agent en entier. Dans ce cas, l'agent ne copiera qu'une partie de sa chaîne métamimétique (cas c – Figure 29).

c***) Mise à jour totale avec absorption partielle*** $Bc(i)-(|s_i(t)|-n)<k$ (Figure 29) : La borne cognitive de l'agent ne lui permet pas d'adopter l'ensemble de la sous-chaîne métamimétique de l'agent visé. Il doit se contenter d'en adopter les premiers niveaux.

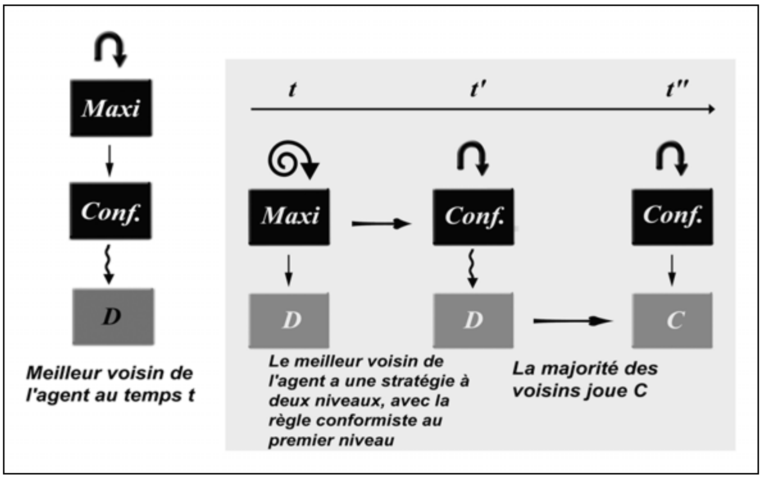


Figure 29 : Mise à jour totale avec absorption partielle. Un agent de borne cognitive *1* cherche au temps *t* à imiter un agent qui emploie une stratégie à deux niveaux (chaîne de gauche). Il doit se contenter d'imiter sa règle de premier niveau et l'utiliser ensuite pour modifier les niveaux inférieurs.

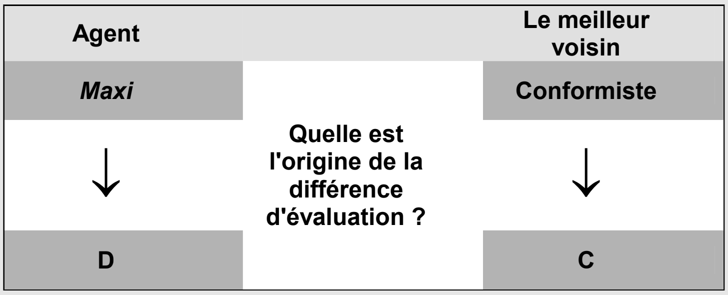
Ces trois types de transition sont importants sous deux aspects. Premièrement ils définissent une variation endogène de la longueur de la chaîne métamimétique. Celle-ci est modifiée si, à un moment donné, l'agent considère qu'une stratégie plus complexe que celle qu'il suit est plus performante.

Deuxièmement, et c'est le point le plus important, dans le cas d'une mise à jour de la règle métamimétique de plus haut niveau, cette règle peut être amenée à changer si la borne cognitive est atteinte (cf. Figure 28 et Figure 29).

11

La question de l'inférence des traits

Nous avons annoncé au *III.1.B.a* que nous ne traiterons pas le problème de l'inférence pour nous concentrer sur le problème du critère d'imitation. Il est cependant nécessaire de donner quelques précisions de manière à mettre en évidence les choix par défaut qui seront faits par la suite. Considérons par exemple des agents de borne cognitive égale à un.



Ces agents, décrits par la donnée de leur comportement et de leur règle, peuvent tenter d'inférer ces deux éléments chez leurs voisins. Lors des applications, nous ferons dans un premier temps (*III.2.B*) l'hypothèse simplificatrice que ce processus s'effectue de manière parfaite : les agents voient les traits de leurs voisins. Nous ne chercherons pas à rendre plus réaliste ce processus d'inférence, sauf à le rendre bruité (*III.2.C*). L'essentiel est que de tels processus, même s'ils sont peu fiables, existent et puissent être appris. Par exemple, pour savoir si un individu est conformiste, un agent pourra regarder si, sur les *n* derniers coups, cet individu a agi comme la majorité de leurs voisins communs.

Une fois inférés les traits du meilleur voisin, l'agent doit déterminer quel(s) trait(s) est (sont) responsable(s) de ce succès (fonction de sélection). Là encore, il y a une multiplicité de règles d'inférence possibles. Citons-en trois pour l'exemple minimal ci-dessus :

1. **Remettre en cause de manière indépendante chacun des traits** avec une certaine probabilité (« je copie le comportement de mon modèle avec une probabilité θ et sa règle avec une probabilité α. Lorsque je change ma règle, je réexamine mon comportement au vu de la nouvelle règle »).
2. **Remettre en cause la règle en priorité** (« je vais adopter la règle de mon voisin, je réexaminerai mon comportement avec cette nouvelle règle»).
3. **Remettre en cause l'action en priorité** (« je vais commencer par adopter le comportement de mon voisin, si cela ne marche pas j'adopterai sa règle»).

Lors des applications, nous prendrons par défaut la règle *1*, qui coïncide avec la règle *2* lorsque θ et α sont égaux à *1.*

Il est important de remarquer que ces différentes règles d'inférences, si elles étaient introduites, ne seraient pas des paramètres supplémentaires car elles font partie de la description des règles métamimétiques. Cela ne ferait qu'augmenter la taille de l'espace des règles. Par exemple, si nous avions deux types de règles *maxi*, l'une utilisant la règles 2, l'autre la règle *3,* leurs proportions évolueront alors sous les dynamiques métamimétiques. Les processus d'inférence les plus performants et les plus stables, relativement au critère qu'ils desservent, seront alors « sélectionnés ».

III.1.C.c Interprétation de la condition P3 : réflexivité et auto-cohérence des règles

La condition *P3* peut sembler surprenante, d'autant plus qu'elle s'applique également aux buts ultimes de l'agent, décrits par sa règle de dernier niveau. En cas de mise à jour totale, le processus d'imitation aura pour résultat la modification des buts de plus haut niveau de l'agent. Commentons donc la condition *P3* autour de ce cas limite, en rappelant que la stratégie d'un agent est définie comme l'ensemble de ses traits modifiables.

La condition *P3* peut alors s'exprimer sous la forme suivante :

Condition P3 :

L'agent change toujours une stratégie pour une stratégie plus performante au sens de ses buts de plus haut niveau (principe de rationalité)

En utilisant les notions introduites dans la partie II, ceci s'interprète dans les termes de la théorie de la simulation et de la théorie de la théorie : *Si, en se mettant contrefactuellement à la place de ses voisins, relativement à leurs situations, un agent peut s'imaginer mieux qu'il n'est (théorie de la simulation), alors il adoptera la métarègle de celui qu'il estime être le meilleur (*théorie de la théorie*), quand bien même cela l'obligerait à abandonner ses propres métarègles.*

Du point de vue de l'agent, cela correspond à une stabilité contrefactuelle. Du point de vue des règles, cela correspond à un critère d'auto-cohérence : *les actions qu'elles prescrivent ne sont pas en contradiction avec le fait de les posséder*. L'auto-cohérence et la stabilité contrefactuelle ne sont pas des propriétés de la règle ou de l'agent, mais des propriétés de la *relation* entre l'agent qui possède cette règle et son environnement. Cette exigence d'auto-cohérence des règles découle directement du fait qu'à tous les niveaux, les règles d'imitation sont des traits modifiables. Les règles de plus haut niveau sont donc perçues par l'agent comme faisant partie de la stratégie qui vise à les satisfaire. Il n'y a de ce point de vue aucune différence entre règles et métarègles, elles peuvent être aussi bien moyens et fins.

Cette vision des choses peut sembler assez paradoxale pour ceux qui ont l'habitude de considérer que les moyens sont au service des fins. Dans une perspective de modélisation des systèmes sociaux, il nous faut montrer que cette hypothèse est raisonnable du point de vue d'un processus de schématisation du réel.

Revenons donc aux systèmes sociaux réels. La première objection que nous pourrions faire est que les buts ultimes des individus ne sont pas des traits modifiables, qu'ils ne dépendent pas de leur volonté, qu'ils sont transcendants. Cela revient à nier la proposition *P2*. Cette position est un parti pris ontologique. Quand bien même il serait possible de départager les positions *P2* et *non-P2,* une critique rigoureuse de *non-P2* nécessiterait de mettre en défaut son auto-cohérence, ce qui nous mènerait bien au-delà des développements que nous pouvons accorder à cette question dans le cadre de cette étude.

La deuxième objection possible serait de considérer que bien que les individus sachent qu'ils peuvent agir sur leurs buts ultimes, ils se refusent à le faire. Cela correspond à la condition suivante :

Condition P3' :

a) L'agent se refuse à changer ses buts de plus haut niveau,

b) L'agent ne change sa stratégie pour une stratégie plus performante que si cela n'est pas contradictoire avec le principe *a*.

La comparaison des conditions *P3* et *P3'* révèle alors une asymétrie par rapport au temps. En ce qui concerne la condition *P3*, une situation de conflit, qui est analogue à ce que l'on appelle *dissonance cognitive*, est résolue par la décision de l'agent ou tout du moins, est remplacée par une situation conflictuelle différente. En revanche, sous la condition *P*3', la situation de conflit est reconduite et ne peut être dissoute que par des événements indépendants de la volonté de l'agent. Le respect de la condition *P3'* est donc plus difficile que celui de *P3* puisque la volonté de la respecter doit être affirmée à chaque instant. *P3'* nécessite que l'agent se convainc à chaque instant, et pour une durée indéterminée, que les buts qu'il s'est fixés sont les bons, malgré une contradiction récurrente avec ses observations.

Par ailleurs, quelle que soit l'option choisie *P3* ou *P3'*, elle ne sera qu'une approximation arbitraire d'un ensemble de situations qui, sans aucun doute, sont loin d'être recouvertes par ces deux seules catégories. Fort heureusement, nous ne sommes pas des automates, et, admettons qu'une personne puisse être plus encline psychologiquement à respecter la condition *P3,* elle serait néanmoins capable de résister temporairement au détournement de ses buts initiaux ; tout comme une personne qui serait mieux décrite par la condition *P3',* se laisserait aller de temps à autre à une résolution facile de conflit. La question est donc de savoir ce que l'on perd en restreignant les comportements possibles à l'une de ces deux catégories. La réponse que nous suggérons est la suivante : si nous admettons la condition *P3',* le fait de ne pas considérer que les agents puissent changer leurs buts de plus haut niveau nous fait perdre de vue le fait que ces buts évoluent de façon dynamique, et exclut de fait, tout un ensemble de dynamiques possibles ; alors que si nous admettons la condition *P3*, nous surestimons certainement la propension des agents à changer d'objectifs, mais nous conservons le caractère dynamique du dernier niveau qui est, nous semble-t-il, le trait qualitatif le plus intéressant dans le cadre d'une modélisation. Ainsi, même si des individus ne changent que très rarement leurs buts de plus haut niveau, les modalités de mise à jour ont toutes les chances d'être d'une grande importance si l'on veut modéliser l'émergence de structures au sein des réseaux sociaux, c'est-à-dire, la corrélation entre les comportements et les métarègles des individus.

Nous pourrions résumer ceci en disant que le phénomène qui cherche à être saisi dans la condition *P3* est qu'un individu n'adopte consciemment de nouveaux buts que dans la mesure où leur adoption est cohérente avec les buts et les principes qu'il s'est déjà donnés, ce qui correspond précisément à ce que Tarde (1890) appelait « imitation logique » :

> « […] les causes sociales sont de deux sortes : logiques ou non logiques. Cette distinction a la plus grande importance. Les causes logiques agissent quand l'innovation choisie par un homme l'est parce qu'elle est jugée par lui plus utile et plus vraie que les autres, c'est à dire plus d'accord que celles-ci avec les buts et les principes déjà établis en lui (par imitation toujours). »

Remarquons le *« par imitation toujours »,* que Tarde glisse au passage entre parenthèses, et qui est au cœur de notre problématique.

Enfin, un dernier argument justifie le choix de *P3* contre *P3',* dans la mesure où on admet *P2*. Le caractère trop bien réglé de la substitution réflexive telle qu'elle est décrite ne doit pas nous tromper. Elle n'est que l'approximation sous forme d'un processus instantané d'un phénomène qui peut avoir une certaine épaisseur temporelle. Les êtres humains n'ont pas une borne cognitive physique au-delà de laquelle toute volonté est effacée, mais plutôt un ensemble d'objectifs qu'ils peuvent garder plus ou moins présents à leur mémoire. Pour obtenir quelque chose, nous sommes capables d'effectuer des détours extrêmement longs qui passent par l'adoption de buts intermédiaires. Nous gardons dans ce cas-là en arrière plan, les buts initiaux qui nous servent à donner sens à notre action. Quelqu'un peut temporairement décider de s'engager dans une activité chronophage, comme par exemple monter une start-up, avec l'idée de gagner assez d'argent pour pouvoir par la suite passer une large partie de son temps auprès de ses proches. Pour prendre un autre exemple (Dupuy et Robert 1976), un individu peut décider de mettre en oeuvre tous les moyens nécessaires pour acquérir le véhicule qui lui permettra de gagner du temps dans ses déplacements.

Le danger pour le but initial est d'être oublié en cours de route. Le nouveau chef d'entreprise peut prendre goût à ses nouvelles activités, voir à l'horizon des profits considérables qui le poussent à toujours reporter la vente de son entreprise, être obligé de prendre des engagements sur le long terme pour préserver son investissement initial, etc., sacrifiant ses proches à une vie frénétique. La voiture tant désirée pour sa vitesse, peut avoir nécessité tant d'heures de travail pour son acquisition qu'elle en dessert l'objectif initial[59], sa possession n'ayant désormais de sens que si elle est une fin en soi. Ainsi, il est très courant que le détour se révèle être un détour d'objectifs plutôt qu'un détour de moyens. Si nous contractons par la pensée le temps de cette opération, nous obtenons de façon stylisée la mise à jour réflexive que nous avons décrite.

Tout ceci nous amène à penser que, dans une tentative de formalisation nécessairement simplificatrice des dynamiques sociales, l'hypothèse *P3* est plus à même que l'hypothèse *P3'* de nous garantir que les dynamiques intéressantes seront conservées dans l'opération.

III.1.C.d L'imitation est-elle une métarègle ?

L'imitation est-elle une métarègle ? Ce point délicat mérite un paragraphe. Peut-on dire que nos agents ont pour méta-métarègle l'imitation en vertu du fait que, quoi qu'ils fassent, ils restent mimétiques ?

Dans tout système dynamique, il existe un invariant, mais est-ce pour autant que cet invariant doit être considéré comme une métarègle ? Dans ce que nous proposons, l'invariant est clairement un principe d'imitation : «imite la stratégie de l'agent que tu estimes être le meilleur». Il nous semble cependant difficile de dire que ce principe est une métarègle sur la stratégie étant donné qu'ici, « meilleur » n'est pas défini, c'est une variable muette. Considérons la phrase suivante : « imite la stratégie de l'agent que tu estimes être *X*». Personne n'admettrait cela comme règle, sauf à considérer que *X* ne peut prendre qu'une seule valeur et que par conséquent, ce n'est pas une variable muette. Quand bien même nous remplacerions cette phrase par « imite la stratégie de l'agent que tu auras choisi suivant tes propres critères » nous ne serions pas plus avancés.

Ce principe d'imitation doit être comparé au principe invariant d'éduction de la théorie des jeux : « choisis la stratégie dont tu prédis qu'elle sera la meilleure » (*cf.* encart *12*). Ici comme là, il n'y a pas de notion de meilleur prédéfinie, mais seulement un ensemble de

[59] Ainsi Dupuy et Robert rapportent dans leur ouvrage le calcul « bizarre » suivant: si l'on additionne toutes les heures que consacre le Français moyen à sa voiture entre ses déplacements, tous types confondus, le temps passé à l'entretenir et le temps passé à travailler pour pouvoir l'acquérir, et que l'on rapporte cela au nombre de kilomètres parcourus, tous types de trajets confondus, on trouve que le Français moyen se déplace en fin de compte plus lentement que s'il roulait à vélo.

notions formulables par l'agent, délimité par le pouvoir d'expression de son langage. Ces principes doivent donc avoir à nos yeux un caractère ontologique, ils définissent la nature des agents, la physique du système au sein de laquelle pourront être écrites les règles d'organisation. Un retour historique nous permettra de mieux comprendre ce point. Une distinction importante sur laquelle insiste Ashby (1962) est celle entre l'espace-produit (*product space*), qui est l'ensemble des possibles, et le sous-ensemble de cet espace constitué des points qui sont actualisés, et qui représentent le « monde réel ». La présence d'une «organisation» est alors équivalente à l'existence d'une contrainte (*constraint*) au sein de cet espace-produit. La caractéristique principale de cet espace-produit est de contenir plus que ce qui existe effectivement dans le monde réel, ce dernier étant le sous-ensemble délimité par les contraintes. Le choix de l'espace-produit pertinent exprime une certaine liberté du modélisateur :

> The real world gives the subset of what *is*; the product space represents the uncertainty of the *observer*. The product space may therefore change if the observer changes; and two observers may legitimately use different product spaces within which to record the same subset of actual events in some actual thing. The "constraint" is thus a *relation* between the observer and thing; the properties of any particular constraint will depend on both the real thing and on *the observer*. It follows that a substantial part of the theory of organization will be concerned with *properties that are not intrinsic to the thing but are relational between observer and thing*[60].

Dans le cadre d'une théorie de l'auto-organisation, notre hypothèse est que l'espace-produit doit également inclure *un ensemble de règles d'organisation possibles*. Le principe d'imitation ou le principe de maximisation de l'utilité espérée ne sont pas des méta-métarègles, ce sont des éléments participants à des descriptions d'espaces produit différents, qui sont des choix de modélisation. Nous pouvons d'ailleurs raisonnablement penser que le monde réel est contenu dans un espace-produit bien plus large, qui contient au moins le produit de ces deux espaces-produits, raison pour laquelle nous avons souvent insisté sur le fait que ce que nous considérons ici n'est que la projection de cet espace-produit plus grand sur celui plus restreint que décrit le principe d'imitation.

---

[60] « Le monde réel donne le sous-ensemble de ce qui *est ;* l'espace-produit représente l'incertitude de l'*observateur*. Par conséquent, l'espace-produit peut changer si l'observateur change ; et deux observateurs peuvent légitimement avoir recours à des espaces-produits différents au sein desquels ils enregistreront le même sous-ensemble de faits réels concernant un objet réel. La « contrainte » est donc une *relation* entre l'observateur et l'objet ; la propriété d'une quelconque contrainte particulière dépendra à la fois de l'objet réel et *de l'observateur*. Il s'ensuit qu'une part substantielle de la théorie de l'organisation aura à s'intéresser à *des propriétés qui ne sont pas intrinsèques à l'objet mais qui sont relationnelles entre l'observateur et l'objet.»,* Ashby 1962*, italiques de l'auteur.

En ces termes, notre démarche actuelle consiste à démontrer que dans un espace-produit qui inclut le principe d'imitation, il peut y avoir effectivement auto-organisation au sens d'émergence spontanée d'un sous-ensemble contraint. Cette contrainte s'exprime par une distribution endogène des règles de comportements qu'adoptent les entités qui constituent le système étudié (*cf. I.3.B.c*). Une autre manière de voir les choses est de dire que nous avons une auto-organisation à partir d'un substrat dont les éléments partagent la propriété d'être des règles d'imitation. De ce point de vue, il n'y a pas besoin d'ajouter une règle d'organisation à ce substrat, les éléments de ce substrat modifiant d'eux-mêmes leur structure interne au contact les uns des autres.

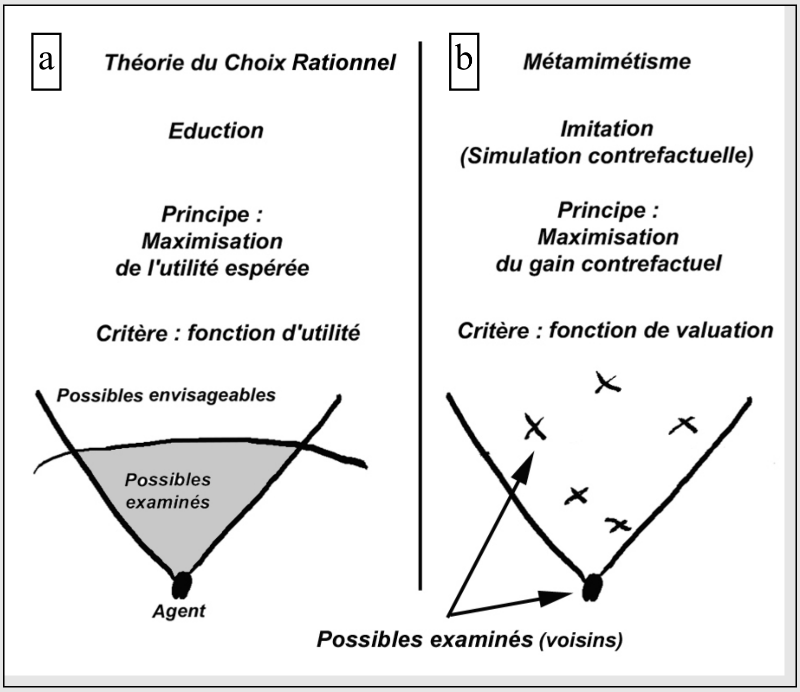
12

L’imitation et l’éduction : deux principes de la prise de décision

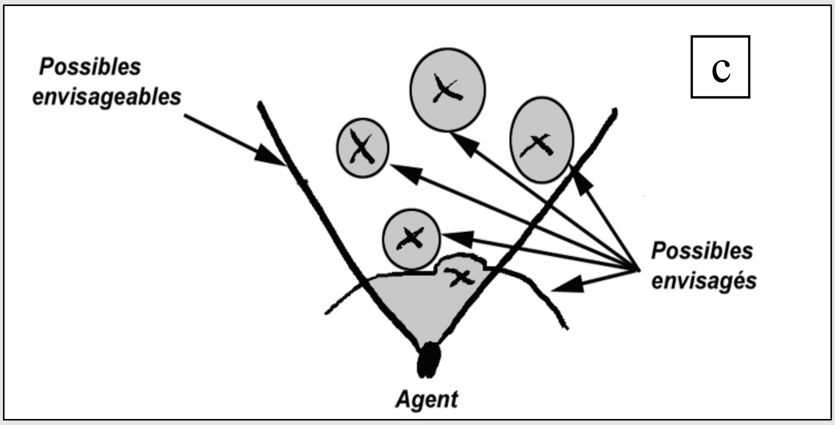
Pour comprendre en quoi l’imitation peut être vue comme un principe et non comme une métarègle, nous pouvons la comparer à un autre grand principe utilisé dans les théories de la décision, la *maximisation de l’utilité espérée* : « choisis la stratégie dont tu prédis qu'elle sera la meilleure ». La maximisation de l’utilité espérée s’appuie sur l’éduction, tout comme le principe d’imitation s’appuie sur la simulation contrefactuelle. Dans son expression formelle, la fonction de valuation est alors l’analogue de la fonction d’utilité. Cette analogie permet de formuler assez précisément la différence entre l’imitation et l’éduction.

- Lors d’une prise de décision éductive (figure a), un agent a devant lui l’ensemble des possibles qu’il est susceptible d’envisager. Cet ensemble dépend des connaissances de l’agent et de la richesse des concepts qu’il est susceptible de manipuler (résultant d’un apprentissage). Si l’on respecte les contraintes de rationalité limitée proposées par Herbert Simon, un agent ne considèrera qu’un sous-ensemble limité de ces possibles envisageables. Il choisira alors parmi ces possibles envisagés, l’action qui maximise son utilité.

- Lors d’un processus d’imitation (figure b), un agent a devant lui un ensemble de modèles potentiels. Les descriptions de ceux-ci sont le résultat d’un processus d’inférence (*cf.* encarts 11), et en ce sens, elles sont également contraintes par l’ensemble des possibles que l’agent est susceptible d’envisager. Il choisit alors d’imiter la stratégie qui maximise son gain contrefactuel.



Ces deux modèles de prise de décision ne sont, bien entendu, que des schématisations de processus bien plus complexes. Ils ne sont d'ailleurs pas fondamentalement distincts ; nous pourrions très bien penser la maximisation de l'utilité espérée comme une simulation sur des possibles imaginés. Ceci nous amènerait à considérer que l'ensemble des possibles examinés par un agent dans un processus éductif, contient les possibles suggérés par ses voisins. L'imitation propose donc des points d'ancrage pour l'exploration des possibles dans un processus éductif (figure c).



Cette comparaison nous permet d'envisager l'imitation comme *un principe*, au même titre que la maximisation de l'utilité espérée. Ce n'est donc pas une métarègle.

Profitons également de ce rapprochement pour souligner qu'en ce qui concerne les processus d'imitation décrits ici, la fonction de valuation, et plus généralement la définition formelle de l'imitation que nous avons proposée, n'est qu'une des représentations possibles de ces processus. Le rapprochement que nous faisons entre fonction d'utilité et fonction de valuation ne signifie pas que nous modélisons les comportements humains comme des comportements d'optimisation, mais qu'il est possible de représenter formellement une procédure de choix quelconque en prenant comme intermédiaire la maximisation d'une fonction bien choisie.

Par exemple, du point de vue de l'agent, il est absurde de dire qu'un individu conformiste cherche à maximiser une certaine fonction. En revanche, du point de vue du modélisateur, le conformisme peut être représenté comme l'adoption du trait qui a la plus forte densité dans la population. Le recours à des objets tels que la fonction de valuation n'est qu'un codage particulier pour représenter certains phénomènes. Mais ce n'est pas pour autant que les phénomènes que nous représentons par ce codage héritent nécessairement de la sémantique qui lui est généralement associée. Pour prendre une analogie, il est possible de coder *La Flûte Enchantée* sur un disque compact. Ce n'est pas pour autant que cette œuvre devient une suite de *0* et de *1*.

III.1.C.e L'espace des états du système

La description de l'espace-produit, qui est l'espace des états possibles d'un système, doit faire l'objet d'une attention particulière. Nous nous placerons pour cette description au niveau individuel, l'agent en tant que système présente une particularité remarquable : l'espace de ses états et l'espace des dynamiques sur ces états sont confondus du fait qu'en un certain endroit, une règle est sa propre métarègle. Formulé dans les termes de la théorie des jeux, nous pouvons dire qu'il y a coalescence des stratégies et des méta-stratégies. La détermination de l'espace des stratégies possibles est donc le point le plus important dans une perspective d'approche des systèmes sociaux par la modélisation, car il détermine également l'espace des dynamiques possibles au niveau de l'agent. Nous proposons ici quelques principes généraux sur la forme de l'espace des états du système, naturellement suggérés par la définition que nous avons adoptée de l'imitation.

Commençons par un exemple. Les trois règles les plus couramment utilisées dans les premiers modèles de l'émergence de la coopération sont *défecteur inconditionnel, coopérateur inconditionnel, Tit-for-Tat et Chicken*[61]. Puis sont venus des ensembles de stratégies plus complexes, définis par l'ensemble des stratégies possibles avec une mémoire à *1* coup (Nowak & Sigmund 1993a), ou l'ensemble des stratégies pouvant être définies par un automate de taille finie (voir par exemple Lindgren & Johansson 2002). Le principe général qui se dégage de ces exemples est que l'ensemble des stratégies considéré doit présenter une certaine symétrie : pour une stratégie d'une complexité donnée appartenant à l'ensemble, toutes les stratégies d'une complexité équivalente doivent également appartenir à l'ensemble. En effet, si par exemple ces stratégies représentent de façon stylisée des comportements humains, il n'y a pas de raison pour qu'un individu puisse suivre une certaine stratégie mais ne soit pas capable de suivre une stratégie de complexité équivalente. Si donc une stratégie doit être éliminée, la cause doit en être la dynamique du système et non un *a priori* du modélisateur[62].

Nous prendrons également ce principe dans la plupart des exemples de systèmes métamimétiques que nous allons étudier, ceci se traduira par le fait qu'un espace de règles pourra être décrit comme l'espace engendré par un certain ensemble de capacités cognitives

[61] Chiken est la règle symétrique de Tit-for-Tat : elle coopère lorsque le partenaire a fait défection au coup précédent, et fait défection dans le cas contraire. Cette stratégie est vite éliminée dans le cadre d'une dynamique des réplicateurs et ne présente donc qu'un intérêt limité. C'est la raison pour laquelle elle est peu évoquée.

[62] Cela n'aurait pas de sens, par exemple, d'expliquer la coopération par le fait que les coopérateurs sont plus intelligents que les défecteurs et peuvent se reconnaître entre eux.

(voir également encart *9*). De même que la grammaire et la syntaxe définissent un ensemble de phrases possibles, certains principes générateurs ou capacités cognitives formelles définiront un ensemble de règles possibles.

Ceci est important car il est très différent de décrire un espace par la liste de ses éléments ou par des principes générateurs. Dans le premier cas, la liste est nécessairement finie, dans le deuxième cas, l'ensemble engendré peut être infini. Dans le premier cas, l'ensemble n'est pas structuré, dans le deuxième cas, il est caractérisé par des invariants. Pour des raisons de clarté et de contraintes de programmation, les espaces de règles que nous allons considérer dans nos exemples seront extrêmement simples et finis. Il ne faudra pas cependant oublier que ces espaces ne sont pas des listes. De même qu'il est absurde de dire qu'un individu connaît toutes les phrases possibles parce qu'il connaît la grammaire et la syntaxe, cela n'aurait pas de sens d'envisager que les fonctions de transition qu'adopte un agent au cours de son évolution sont déjà contenues dans la fonction initiale. Cela serait confondre comprendre et connaître.

Pour prendre un exemple, lorsque nous avons envisagé la transition entre une règle *maxi* et une règle *conformiste* (*III.1.C.d*), la règle *conformiste* pouvait effectivement être une règle totalement nouvelle pour l'agent, jamais envisagée, mais qu'il avait cependant pu inférer à partir du comportement de ses voisins. En ce sens, il y a réellement eu du point de vue de l'agent une transformation discontinue d'une dynamique déterminée par certaine fonction f en une dynamique déterminée par une certaine fonction g.

III.1.C.f Entre couplage par input et couplage par clôture

D'après ce qui précède, nous allons voir que les dynamiques des jeux métamimétiques sont des exemples des dynamiques évoquées dans l'introduction à cette partie. Examinons par exemple, le cas d'un jeu métamimétique entre des agents de borne cognitive égale à *1* déterminés par un comportement *b* et une règle d'imitation *r*. Etant donné un ensemble d'états *S*, nous noterons ici Φ l'ensemble des dynamiques possibles sur *S*.

Dynamique 1. : Point de vue de l'individu

$$\Phi \times I_f \times S \rightarrow \Phi \times S$$

$$(f, i_t, s_t) \rightarrow (g, s_{t+1})\ ,\ i_t \in I_f$$

Considérons un système défini par une chaîne métamimétique (un agent). L'état du système est la donnée des traits modifiables aux différents niveaux, les inputs étant les traits perçus par l'agent. La dynamique *1* est alors une description de l'évolution de la chaîne métamimétique de l'agent. Ce type de transition est en effet ce que nous rencontrons lorsque, par exemple, un agent maximisateur de borne cognitive *1* devient conformiste après avoir observé que c'est la métarègle la plus performante du point de vue des gains. La règle *maxi (f)* et la règle *conformiste* (*g*) ont des formes fonctionnelles très différentes et des espaces d'input distincts puisque la règle *conformiste* ne considère pas les gains comme pertinents, alors que ceux-ci sont fondamentaux pour la règle *maxi*. En ce sens, les agents *conformistes* et *maxi* vivent dans des mondes radicalement différents. De plus, la transition entre les deux types de dynamiques ne s'effectue ni au hasard ni suivant des critères externes mais bien selon des critères déterminés par *f*. Enfin, l'espace des inputs est très important puisque c'est de là que vient, par imitation, la nouvelle forme fonctionnelle.

Nous pouvons alors réécrire la dynamique de manière plus rigoureuse en introduisant la fonction Apply, *A*, telle que $A(f,x)=f(x)$, et le projecteur P_{-1} qui à une chaîne métamimétique $s=(b,r)$ associe la règle *r*.

Dynamique 1. : Point de vue de l'individu

$$\xi : I_r \times S \rightarrow S$$

$$(i_t, s_t) \rightarrow A(P_{-1}(s_t), (i_t)) = s_{t+1}\ ,\ \text{avec } r = P_{-1}(s_t) \text{ et } i_t \in I_r \text{ (input de } r)$$

L'invariant de la dynamique est donc la composition d'un *Apply* avec un projecteur. Du point de vue du système, une nouvelle dynamique n'est adoptée que si elle est plus cohérente que la dynamique courante, du point de vue de la dynamique courante.

Pour conclure nous mettrons en relation cette approche de la dynamique individuelle avec la notion d'autonomie que Cornelius Castoriadis (1983) envisageait comme *«un état où « quelqu'un » - sujet singulier ou collectivité - est auteur de sa propre loi explicitement et, tant que faire se peut, lucidement (non pas « aveuglément »). Cela implique [...] qu'il instaure un rapport nouveau avec sa « loi », signifiant, entre autres, qu'il peut la modifier sachant qu'il le fait».* Notons que Castoriadis a également utilisé en ce sens le terme d'auto-constitution, ceci afin d'éviter la confusion avec une notion d'autonomie plus proche de la conception de Varela, qui envisage un système autonome comme une unité fonctionnant sur elle-même et pour elle-même. Le passage suivant est encore plus éclairant :

> L'autonomie, ce n'est pas la clôture, mais l'ouverture ; ouverture ontologique, possibilité de dépasser la clôture informationnelle, cognitive et organisationnelle qui caractérise les êtres auto-constituants, mais *hétéronomes*. Ouverture ontologique, puisque dépasser cette clôture signifie altérer le «système» cognitif et organisationnel déjà existant, *donc* constituer son monde et soi selon des lois *autres, donc* créer un nouvel *eidos* ontologique, un soi autre dans un monde autre.
> Cette possibilité n'apparaît, que je sache, qu'avec l'humain. Elle apparaît comme possibilité de remettre en cause, non pas aléatoirement ou aveuglément, mais sachant qu'on le fait, sa propre loi, sa propre institution lorsqu'il s'agit de la société.

Même si les concepts employés ici méritent de plus amples commentaires, comment ne pas suggérer à la suite d'une simple lecture, que les principes d'organisation que nous avons évoqués, qui permettent à un agent d'emprunter une nouvelle dynamique à un « extérieur » du moment qu'elle fait sens pour lui, puissent être un cas particulier de ce qu'envisage Castoriadis ?

Dynamique 2) : Point de vue du collectif

$$\Phi\times S^N \rightarrow \Phi\times S^N$$

$$(f,\sigma_t) \rightarrow (g,\sigma_{t+1}) \text{ avec } f\subset \sigma_t \text{ et } g\subset \sigma_{t+1}$$

Ce type de dynamique est obtenu lorsque nous considérons comme système l'ensemble composé de tous les agents. L'état du système est alors défini par la donnée des traits modifiables de tous les agents et des relations de voisinage qu'ils établissent, c'est-à-dire la description des inputs pour chacun des sous-systèmes que constituent les agents en termes de traits modifiables observés chez les autres agents. La dynamique f du système est alors la donnée de l'ensemble des traits modifiables qui ont le statut de règle d'imitation, et des relations de voisinage qu'ils établissent. f n'a pas d'input, à moins de considérer que la topologie de l'espace est un input.

Si nous considérons la topologie définie par Γ comme une donnée (Γ constante), Γ_i étant l'ensemble des voisins de l'agent i, la seule donnée de Γ et de l'état du système σ nous permet de déterminer pour chaque agent i l'ensemble des traits perçus (τ_i, τ_{-i}). Pour alléger les notations, nous noterons par extension $\Gamma(s_i)=(\tau_i, \tau_{-i})=\{\tau_k, k\in\Gamma_i\}\in T_{p,i}$. Dans cette notation, la fonction Γ reconstitue donc les traits perçus par les agents à partir de l'état du système.

Nous pouvons alors réécrire de manière plus rigoureuse cette dynamique en introduisant les projecteurs $P_i : S^N \rightarrow S,\ \sigma \rightarrow s_i$ et en notant P_{-1} le projecteur permettant d'obtenir la règle à partir d'une stratégie $s=(b,r)$ (*i.e.* $P_{-1}((b,r))=r$).

Dynamique 2) : Point de vue du collectif :

$$\Xi : S^N \rightarrow S^N$$

$$(\sigma_t) \rightarrow (A(P_{-1}(P_1(\sigma_t)), \Gamma(P_1(\sigma_t))), \ldots ,A(P_{-1}(P_N(\sigma_t)), \Gamma(P_N(\sigma_t)))))$$

L'invariant de la dynamique est donc encore la composition de la fonction *Apply* avec des projecteurs qui constitue ce que nous pourrions appeler un *Apply* spatialisé.

Nous voyons ici que ce type de dynamique est un couplage par clôture très particulier puisque la dynamique du système est une partie de l'état du système, qui est donc amenée à changer spontanément, *sans l'effet de perturbations extérieures*. En ce sens, le passage de f à g peut-être interprété comme un calcul topologique.

> Soulignons enfin la différence avec des systèmes du type automates cellulaires, tels ceux que nous avons vus dans Nowak et May : dans ce cas-là, si l'on considère l'ensemble des automates comme un seul système, nous éliminons effectivement les inputs, mais la dynamique n'est pas pour autant un état du système dans la mesure où elle ne change pas (les agents sont maximisateurs relativement aux gains et ils le restent).

Il nous faut relever ici le caractère enchevêtré des dynamiques *1* et *2*. La dynamique au niveau de l'individu n'a aucun sens si l'on ne tient pas compte du collectif dans lequel il est plongé, qui est susceptible de lui apporter de nouvelles règles de transition. Par ailleurs, la moindre décision individuelle - et cela est dû au fait que nous avons isolé les comportements mimétiques d'autres types de prise de décision - nécessite la prise en compte des comportements des voisins. Un individu ne cessera d'imiter que si à chaque fois qu'il se met contrefactuellement à la place de l'un de ses voisins, la situation de ce dernier est ressentie comme moins bonne que la sienne. Les variations des comportements d'un individu ne peuvent donc être comprises qu'en tenant compte du collectif auquel il appartient.

D'un autre côté, la dynamique collective est une structure spatio-temporelle qui reflète l'auto-cohérence des règles d'imitation du point de vue des individus. L'évolution d'un sous-ensemble de règles au niveau de la population ne peut être comprise qu'en revenant au niveau des individus et en examinant le degré de cohérence des nouvelles règles du point de vue de leurs propres règles. Ce degré de cohérence n'a pas de sens prédéfini, il est construit par le système au cours de son évolution. Ainsi, nous ne pouvons pas dire, comme c'est le cas pour la dynamique des réplicateurs, qu'une stratégie envahira le système pour autant que sa fitness soit suffisamment élevée, car la notion de fitness n'est pas définie à l'avance. Par exemple, dans un dilemme du prisonnier métamimétique où la métarègle *maxi* est dominante, une stratégie pourra se répandre si elle est assez performante au jeu, ce sera l'inverse si la règle d'imitation dominante est la règle *mini,* et la situation sera encore différente si la population est conformiste dans son ensemble. Tout cela ne veut pas dire que l'évolution d'un système métamimétique est imprédictible, nous allons voir des exemples où il est possible de prédire l'évolution du système, simplement cette évolution ne sera pas prédite par l'optimisation d'une grandeur définie indépendamment de l'espace des métarègles.

III.1.D Les métadynamiques

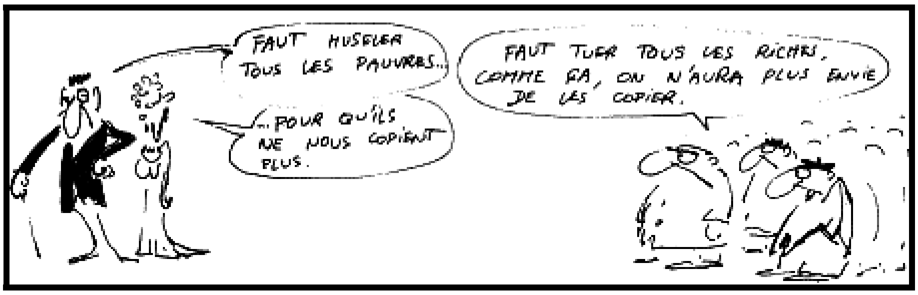
Pour conclure ce chapitre, nous développons les concepts de stabilité pertinents pour les systèmes métamimétiques. Ceci nous permettra par la suite d'étudier la dynamique des systèmes métamimétiques.

Nous dirons qu'un agent est insatisfait s'il se trouve dans une situation où l'un de ses voisins est meilleur que lui suivant l'un des critères qu'il s'est donnés. Ainsi, en cherchant l'origine de cette différence et en essayant d'imiter ce meilleur voisin suivant la dimension pertinente, l'agent cherche à réduire son insatisfaction engendrée par sa situation courante. Mais cette insatisfaction n'est pas intrinsèque à son état, elle est le résultat d'une comparaison avec un autre.

Cette minimisation de l'insatisfaction est en quelque sorte la notion miroir de la maximisation de la satisfaction ou des gains en théorie des jeux. Dans le premier cas, l'agent prend une décision après avoir observé les conséquences de toute une série d'événements pour sortir ainsi d'une situation qui ne lui convient pas, dans le deuxième cas, l'agent prend des décisions d'après des anticipations sur les événements futurs et afin d'atteindre l'état qui lui convient le mieux. L'imitation est suscitée par ce qui existe, l'éduction est attisée par ce qui n'existe pas encore. L'imitation cherche à corriger le passé - « j'aurais dû être comme lui et je vais le devenir » - l'éduction cherche à infléchir le futur.

Ces deux processus de décision sont bien entendu complémentaires et sont utilisés en parallèle par tout un chacun. Notre emphase sur les phénomènes mimétiques ne doit pas nous faire oublier qu'elle n'est qu'au service de la clarté d'une démonstration, l'autre volant de la décision individuelle, l'éduction, étant tout aussi important pour la compréhension des dynamiques sociales. De même que la théorie économique et la théorie des jeux s'appuient sur une notion d'optimisation des gains pour écrire les équations de leurs dynamiques, nous allons développer à des fins similaires la notion d'insatisfaction. Contrairement à la notion de gains, le critère d'insatisfaction n'est pas prédéfini mais évolue dynamiquement.

III.1.D.a L'insatisfaction



***On vit une époque formidable*, Jean-Marc Reiser - Editions Albin Michel**

Comme nous allons le voir, la notion d'insatisfaction va nous permettre d'aborder naturellement les jeux métamimétiques sous l'angle des systèmes dynamiques. Toutes les définitions que nous allons proposer envisagent les jeux métamimétiques dans leur aspect dynamique. Nous considérerons des populations discrètes évoluant en temps discret. Commençons par définir formellement l'insatisfaction.

<u>Définitions :</u>

Insatisfaction : Soit $s_i(t)=(r_0,r_1,..\ r_k,)$ la chaîne métamimétique d'un agent *i* au temps *t*, r_k étant le trait modifiable de niveau *k,* nous dirons que *i* est *insatisfait* au temps *t* si l'un de ses voisins *j,* possédant une chaîne $s_i \neq s_j$ est évalué par *i* comme strictement meilleur que *i,* c'est à dire $v_i(s_j,s_{-j}) > v_i(s_i,s_{-i})$, v_i étant la fonction de valuation de *i* et $\sigma=(s_i,s_{-i})=(s_j,s_{-j})$ décrivant l'état de la population au temps considéré.

L'*insatisfaction* $F_s^t(s')$ d'une chaîne métamimétique *s* par comparaison avec une chaîne *s'* est la probabilité pour qu'un agent ayant adopté la chaîne *s* se retrouve insatisfait par comparaison avec un agent utilisant la chaîne *s'* au temps *t,* et change sa règle pour *s'*.

Nous pouvons alors définir l'insatisfaction d'une chaîne *s :*

$$F_s^t = \sum_{s \neq s'} F_s^t(s')$$

probabilité pour qu'un agent possédant la chaîne *s* soit insatisfait après une comparaison avec l'un de ses voisins, et change de règle.

Par extension, nous définirons de la même manière l'insatisfaction d'une tête de chaîne métamimétique *s* comme la probabilité pour que la partie supérieure d'une chaîne métamimétique finissant par *s* soit modifiée (i.e. *s* désigne les buts de plus haut niveau). Nous pourrons parler par exemple de l'insatisfaction d'un agent (*maxi,D)* tout comme de l'insatisfaction de la règle *maxi.*

Insatisfaction relative : L'insatisfaction est une donnée locale. Pour comprendre la dynamique de manière globale, nous avons besoin de pouvoir comparer les insatisfactions des différentes populations de chaînes métamimétiques en tenant compte de leurs proportions. L'idée est qu'une distribution de chaîne métamimétiques de type *c* sera en équilibre si en moyenne, il y a autant de nouveaux agents qui adoptent *s,* que d'agents qui abandonnent *s* pour une autre chaîne métamimétique. Nous dirons alors que l'insatisfaction relative de *s* est nulle. En notant p_s^t la proportion de chaînes de type *s* au temps *t,* nous obtenons alors la définition :

$$\hat{F}_s^t = p_s^t . F_s^t - \sum_{s' \neq s} p_{s'}^t F_{s'}^t(s)$$

Ce qui peut s'écrire sous la forme d'une équation d'évolution :

$$\Delta p_s^t = p_s^t . F_s^t - \sum_{s' \neq s} p_{s'}^t F_{s'}^t(s)$$

Cette équation est l'équation pilote des systèmes métamimétiques. Elle concerne des *processus dynamiques en temps discret sur des populations discrètes.* Elle a la forme classique d'une équation-bilan et n'acquiert tout son sens qu'en considérant la notion d'insatisfaction.

En première approche, nous pouvons dire que cette dynamique rentre dans le cadre général des processus de Markov, l'espace des états pouvant être très grand puisque, lorsque les voisinages sont tous différents, celui-ci est de taille $|S|^N$ (nombre de stratégies possibles à la puissance du nombre d'agents). Dans la plupart des cas, il ne sera bien entendu pas question d'écrire la matrice de transition du processus de Markov associé étant donné que le nombre d'états possibles dépasse très vite le nombre d'atomes dans l'univers ($\sim 10^{80}$). Nous allons voir cependant que le fait d'envisager les dynamiques métamimétiques comme des processus de Markov va nous permettre de formaliser de façon assez précise la relation entre la dynamique interne d'un système métamimétique et les perturbations.

Pour des raisons de clarté, nous n'avons pas fait intervenir les configurations spatiales dans l'équation précédente. Cependant, l'insatisfaction étant largement dépendante de ces configurations spatiales, il est bien entendu que *l'espace est toujours implicite dans ces équations.* Il peut être nécessaire de le faire intervenir en catégorisant les différentes configurations que rencontrent les agents possédant un même type de chaîne. Pour cette raison, ces équations ont un aspect théorique plus que pratique, la connaissance de la structure spatiale de la population étant souvent trop partielle. Nous verrons cependant au *III.2.C* que des approximations de ces équations peuvent caractériser de manière assez précise les dynamiques.

Dans le cas de jeux bruités, cette équation sera modifiée par l'ajout d'un terme stochastique $\eta \in [0,1]$ vérifiant $\sum_s \eta^t(s)=0$:

$$\Delta p_s^t = -p_s^t . F_s^t + \sum_{s' \neq s} p_{s'}^t F_{s'}^t(s) + \eta^t(s)$$

Nous aurons alors un processus de Markov perturbé.

III.1.D.b La réplication par imitation

Les processus dynamiques que ces équations définissent appartiennent à la catégorie des réplications par imitation (Weibull 1995). Ils ne correspondent cependant à aucune des catégories d'imitation proposées, et nous allons voir que contrairement aux types d'imitation déjà étudiés, ils ne sont pas assimilables aux dynamiques de type de réplicateurs déjà proposées.

Weibull (1995) donne une description très générale des modèles mimétiques en théorie des jeux évolutionnistes. Le type de modèle le plus proche des jeux métamimétiques sont les jeux à populations multiples. Dans ce type de modèle, la population totale est divisée en n populations jouant à un jeu à *n-joueurs.* Au sein d'une population i, les agents peuvent adopter des stratégies différentes dans un ensemble S_i. A chaque stratégie $s \in S_i$, l'ensemble σ des stratégies dans la population étant fixé, chaque agent associe à un joueur utilisant la stratégie s_k un gain $u_i(s_k,s_{-k})$, qui dépend de la population i à laquelle il appartient. u_i est donc l'équivalent de ce que nous avons appelé fonction de valuation v et le gain $u_i(s_k,s_{-k})$ est l'équivalent du gain $v_i(s_k,s_{-k})$. La différence réside dans le fait que chez Weibull, l'indice *i* désigne la population à laquelle appartient l'agent alors que dans notre notation, cet indice désigne l'agent lui-même. Cependant, dans les processus de réplication par imitation, les agents n'ont pas la possibilité de changer de population et ne s'imitent qu'entre agents d'une même population, alors que dans ce que nous proposons, la forme fonctionnelle de v_i peut être modifiée au cours du temps ce qui est l'analogue d'un changement de population. Ainsi, les modèles standards de réplication par imitation travaillent à taille de populations constante. Les agents ne changent pas de point de vue, ils ne peuvent pas changer leur définition de *meilleur*.

La différence entre approche métamimétique et théorie des jeux évolutionnistes dans sa forme actuelle apparaît clairement dans la classification générale des classes de dynamiques de sélection qu'établit Weibull. La plus large classe qu'il présente est celle des dynamiques régulières de sélection (*regular selection dynamics*) qui se décompose en quatre sous-classes distinctes : *payoff-monotonic, payoff-positive, payoff-linear* et *weakly-payoff-positive*. Comme le révèle le préfixe *payoff* devant les noms de ces classes, et qu'une étude plus approfondie confirme, tous ces types de dynamiques considèrent qu'une fonction exogène de gain est donnée de manière définitive aux agents, leur vie ne consistant plus qu'à optimiser d'une manière ou d'une autre cette fonction. Malgré la présence de processus mimétiques, il n'y a donc pas dans les modèles évolutionnistes présentées par Weibull de construction sociale de points de vue.

III.1.D.c La dynamique des réplicateurs

Le modèle le plus répandu parmi les jeux évolutionnistes est la donnée d'un jeu répété où des agents, de complexité cognitive variable, ont une durée de vie finie et sont remplacés au cours du jeu. Dans ce type de jeu, chaque agent se voit attribuer un score que l'on appelle *fitness*, qui détermine son taux de reproduction à chaque période. La fitness de chaque individu est donnée par une fonction globale, la fonction de fitness, qui prend en argument l'état du système. Ce type de dynamique s'appelle dynamique des réplicateurs (Hofbauer & Sigmund 1988). Comme le montre Weibull, il existe un lien fort entre les dynamiques de réplication par imitation qui ont été proposées jusqu'alors et la dynamique des réplicateurs, les premières étant d'une certaine manière réductibles à cette dernière. Or il est facile de montrer que les dynamiques métamimétiques ne sont pas en général réductibles à une dynamique de réplicateurs standard. Plus précisément, nous avons la proposition (preuve en annexe) :

Proposition : *La dynamique des réplicateurs discrète correspond au cas particulier d'un jeu métamimétique avec une seule métarègle sur un graphe complet.*

Autrement dit, il n'est pas possible d'exprimer les dynamiques métamimétiques dans les formalismes proposés actuellement par la théorie des jeux évolutionnistes.

Ceci étant, nous pouvons établir une première comparaison entre les dynamiques métamimétiques et la dynamique des réplicateurs :

1) La dynamique des réplicateurs standard est un cas particulier de dynamique métamimétique.
2) Cette dynamique n'est pas représentative du cas général puisqu'elle correspond à un système métamimétique avec une unique métarègle. D'une certaine manière, nous pouvons parler de dynamique des réplicateurs mono-critère.

Notamment, la dynamique des réplicateurs mono-critère ne permet pas de prendre en compte une diversité endogène de points de vue, et la plupart des dynamiques métamimétiques ne sont pas réductibles à une dynamique des réplicateurs monocritère.

Notions Fondamentales **13**

Quelques concepts de stabilité

L'équilibre de Nash

L'équilibre de Nash est l'un des concepts les plus importants de la théorie des jeux, c'est un type d'équilibre très recherché par les modélisateurs. L'équilibre de Nash est un état tel qu'aucun des joueurs ne peut changer de stratégie de manière à obtenir plus que ce qu'il n'a, étant donné la stratégie des autres joueurs. Formellement, cela se traduit de la manière suivante :

Soit S_i l'espace des stratégies du joueur i, $\sigma=(s_1,\dots s_n)$ le n-uplet caractérisant l'ensemble des stratégies utilisées par les différents joueurs et $u_i(s_i,s_{-i})$ le gain du joueur i dans l'état $\sigma=(s_i,s_{-i})$; $\sigma^*=(s_1^*,\dots s_n^*)$ est un équilibre de Nash si et seulement si : $\forall i,\ \forall s_i \in S_i,\ u_i(s_i,s_{-i}^*)\leq u_i(s_i^*,s_{-i}^*)$.

Le théorème fondamental démontré par Nash (1950) est que lorsque chaque S_i est compacte, il existe toujours un équilibre de Nash en stratégie mixte.

Les stratégies évolutionnairement stables
(**ESS**, *evolutionary stable strategy*)

Le concept jumeau de l'équilibre de Nash dans le cadre de la théorie des jeux évolutionnaires est l'état évolutionnairement stable (ESS, voir Hofbauer et Sigmund 1988). Dans ce cas, nous n'avons plus affaire à des joueurs qui choisissent une stratégie de manière éductive, mais à un ensemble d'agents caractérisés par une stratégie fixe, dont les populations évoluent en fonction d'une dynamique prédéfinie, le plus souvent du type dynamique des réplicateurs. En notant $u(x,y)$ le gain de la stratégie x lorsqu'elle est jouée contre la stratégie y, et en considérant que les agents se rencontrent au hasard, dans une population constituée d'une proportion $(1-\varepsilon)$ d'agents utilisant la stratégie x, et ε d'agents utilisant la stratégie y, le gain moyen d'une stratégie w sera $u(w,(1-\varepsilon).x+\varepsilon.y)$. Une population constituée entièrement de la stratégie x pourra résister à une invasion par un mutant utilisant la stratégie y si, dans une population de composition $(1-\varepsilon).x+\varepsilon.y)$, le gain moyen de la stratégie x est supérieur au gain moyen de la stratégie y, pour ε assez petit. Cela se traduit par la condition :

$$\forall y\neq x, \exists \varepsilon_y>0,\ \forall \varepsilon<\varepsilon_y,\ u(x,(1-\varepsilon).x+\varepsilon.y)> u(y,(1-\varepsilon).x+\varepsilon.y)$$

En particulier, il est facile de montrer que dans le cas où u définit un jeu symétrique entre deux populations, les ESS sont des équilibres de Nash.

Les équilibres stochastiquement stables
(**SSE**, *stochastically stable equilibrium*)

Les équilibres stochastiquement stables ont été introduits par Foster et Young (1990*). L'idée est de donner un concept d'équilibre dans le cas de dynamiques bruitées. Grosso modo, un état d'un système est un équilibre stochastiquement stable si sur le long terme, il est presque certain que le système restera à l'intérieur de tout voisinage de cet état lorsque le niveau de bruit tend vers zéro. Plus généralement, l'ensemble stochastiquement stable (SSS, *stochastically stable set*) est l'ensemble E des états tels que, sur le long terme, le système reste de manière presque sûre à l'intérieur de tout voisinage ouvert contenant E lorsque le niveau de bruit tend vers zéro. Cette notion s'étend au cas où le niveau de bruit est fixé à une valeur non nulle. Dans ce cas, l'étude doit s'attacher au comportement de la distribution limite des états du système lorsque le temps tend vers l'infini. Cette distribution, lorsque le niveau de bruit tend vers zéro se concentre sur le SSS.

De manière plus rigoureuse, considérons un système constitué de N agents pouvant adopter des stratégies dans un ensemble fini S. Soit $\sigma(t)$ le vecteur des stratégies des agents à t qui définit l'état du système, et P^0 le processus de Markov non perturbé tel que $P^0_{\sigma\sigma'}$ est la probabilité pour que le système passe de l'état σ à l'état σ'. Modélisons les perturbations en supposant que chaque agent a une probabilité ε de choisir une stratégie au hasard dans S au lieu de suivre la dynamique P^0. Ceci définit un processus de Markov perturbé P^ε qui est irréductible (car $\varepsilon>0$) et récurrent (car le nombre d'états possibles est fini). D'après le théorème ergodique, P^ε admet une unique distribution stationnaire μ_ε. Le **théorème fondamental** concernant les SSS (voir Young 1993*, qui le démontre pour une classe de perturbations plus large) prouve que :

> $\lim_{\varepsilon \searrow 0}\mu_\varepsilon$ *existe et converge vers une distribution* μ_0, *qui est l'une des distributions stationnaires du processus* P^0 (P^0 n'étant pas nécessairement irréductible, il peut y avoir plusieurs distributions stationnaires).

Il y a donc *sélection* d'une distribution stationnaire parmi toutes les distributions stationnaires compatibles avec le processus P^0.

Un état σ est stochastiquement stable relativement au processus P^ε si et seulement si $\lim_{\varepsilon \searrow 0}\mu_\varepsilon(\sigma)=\mu_0(\sigma)>0$. L'ensemble stochastiquement stable (SSS) est alors l'ensemble des états formant le support de μ_0.

Il n'y a pas pour le moment de formule simple pour trouver le SSS. Cependant, Young (1993*) montre qu'un état appartient au SSS si et seulement si il minimise un certain potentiel stochastique, et il propose un algorithme qui permettant de déterminer ce potentiel lorsque le système n'est pas trop complexe. Ce potentiel stochastique dépend de la *structure* des perturbations.

Ces résultats sont fondamentaux car ils déterminent le type de relation entre un processus structuré non perturbé P^0 et la forme des perturbations extérieures. Ainsi, étant donné un type de perturbation, le comportement du système en terme de fréquences de visite de ses états est déterminé sur le long terme de manière unique lorsque la force de ces perturbations tend vers *0*. Le système visite un ensemble fixé d'états, chacun avec une fréquence bien déterminée, *cette fréquence étant le résultat du couplage entre la dynamique interne du système* P^0 *et la structure des perturbations*. Le comportement du système sur le long terme est alors *indépendant* des conditions initiales.

S'il peut ne pas y avoir de SSE, il y a toujours un SSS. Foster et Young (1990*) montrent par ailleurs, sur des exemples simples, qu'un ESS, même s'il est unique, n'est pas toujours un SSE ; et qu'il peut y avoir un SSS qui ne contienne pas l'unique équilibre de Nash de la dynamique non perturbée.

III.1.D.d Concepts de stabilité pour les jeux métamimétiques

Les définitions précédentes vont nous permettre de préciser les notions d'équilibre qui nous seront utiles par la suite. Nous devons distinguer la dynamique non bruitée, dont nous verrons un exemple au *III.2.B,* de la dynamique perturbée, dont nous verrons un exemple au *III.2.C,* les notions de stabilité dynamique étant très différentes dans chacun des cas.

III.1.D.d.i) Les dynamiques non bruitées

Dans le cas des dynamiques non bruitées, le concept intéressant de stabilité est très proche de la notion d'équilibre de Nash en théorie des jeux. Si nous regardons au niveau individuel, un agent sera dit *contrefactuellement stable* s'il ne peut pas s'imaginer être mieux qu'il n'est en se mettant contrefactuellement à la place de l'un de ses voisins (théorie de la simulation). Pour un agent *i,* cela se traduit par :

$$\forall j \in \Gamma_i,\ s_j \neq s_i \Rightarrow v_i(s_j, s_{-j}) \leq v_i(s_i, s_{-i}) \text{ avec } \sigma = (s_i, s_{-i}) = (s_j, s_{-j})$$

Pour tout voisin *j* de *i*, lorsque l'on prend le point de vue v_i de *i,* le gain contrefactuel associé à la stratégie s_j de *j* est inférieur ou égal au gain contrefactuel associé à la stratégie s_i de *i,* lorsque l'état du système est $\sigma=(s_i,s_{-i})=(s_j,s_{-j})$.

Du point de vue des stratégies, le concept de stabilité contrefactuelle d'une stratégie s_i est l'analogue du concept de meilleure réponse *(best reply)* en théorie des jeux.

Au niveau de la population, nous dirons que nous avons un équilibre métamimétique si chaque agent est *contrefactuellement stable* :

$$\forall i,\ \forall j \in \Gamma_i,\ s_j \neq s_i \Rightarrow v_i(s_j, s_{-j}) \leq v_i(s_i, s_{-i}) \text{ avec } \sigma = (s_i, s_{-i}) = (s_j, s_{-j})$$

Traduit dans les notations précédentes cela correspond au cas où l'insatisfaction des chaînes métamimétiques est nulle :

$$\forall s \in S, \hat{F}^{t}_{s} = 0$$

Notamment, toute population homogène est un équilibre métamimétique puisqu'il n'y a pas de différence entre les agents qui puisse donner lieu à imitation. Nous verrons au chapitre *III.2.B* qu'il y a généralement beaucoup d'équilibres métamimétiques. Cependant, lorsque l'on considère l'évolution d'un système métamimétique, la notion d'équilibre n'est pas assez générale, car dans la plupart des évolutions, bien que la majorité de la population soit satisfaite, il reste quelques agents insatisfaits qui oscillent entre quelques états possibles.

Exemple fondamental **14**

Exemple minimal d'un jeu métamimétique

Pour illustrer les concepts proposés ici, considérons un exemple de jeu métamimétique minimal : deux joueurs de borne cognitive égale à un ne peuvent penser que de deux manières, maximisation des gains ("copie la stratégie de l'autre si son gain est strictement supérieur au tien"), et *conformisme* ("copie la stratégie de l'autre"). Ils ne peuvent agir dans le monde que de deux manières : jouer *C* ou jouer *D*. Les gains associés à chacune des actions sont déterminés par une matrice d'un dilemme du prisonnier (matrice des conséquences). Le jeu est répété. A chaque pas de temps, les joueurs revoient leur règle d'imitation puis leur comportement en fonction des gains et des observations de la période précédente (*cf.* règle d'inférence n°*2* encart *11*, avec mise à jour parallèle). Les agents sont sans mémoire.

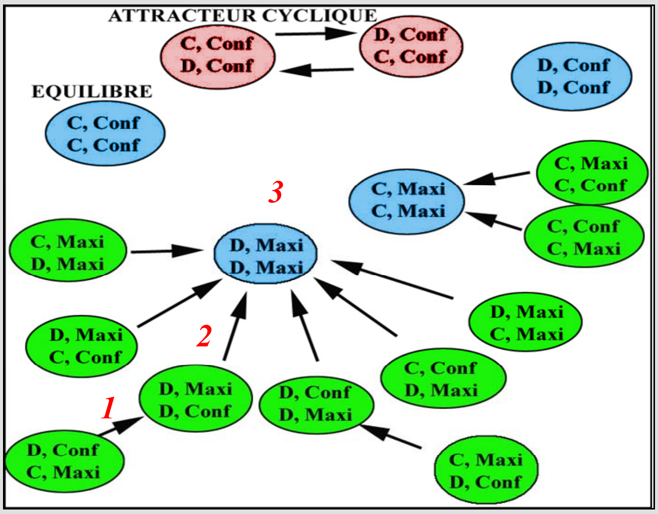
L'état du jeu est donc entièrement déterminé à un instant donné par le comportement et la règle de chacun des joueurs, et il y a *16* états du jeu possibles. Si par exemple, l'état du système à la période *1* est (*cf. ci-dessous*) : *[joueur 1 : (D,conf.); joueur 2 : (C,maxi)]*, le joueur *1* aura les gains les plus élevés. Les joueurs feront alors les raisonnements suivants :

- *Joueur 1* : « L'autre joueur est *maxi*, je vais donc devenir *maxi* pour être comme lui. Etant *maxi*, *D* est l'action qui a rapporté les gains les plus élevés, je vais donc jouer *D* ».
- *Joueur 2* : « Le joueur qui a le gain le plus élevé est conformiste, je vais donc faire comme lui à partir de maintenant. L'autre a joué *D* au dernier coup, je vais donc jouer *D* ».

Le nouvel état du système sera donc à la période *2* :

[*joueur 1 :* (*D,maxi)* ; *joueur 2 :* (D,*conf*)] .

Le système se stabilisera à la période *3* sur l'équilibre métamimétique où chaque joueur est (*D,maxi).*



Sur la figure ci-dessus sont représentés les *16* états possibles du système, les flèches indiquant les transitions définies par sa dynamique interne. Nous pouvons distinguer trois types d'états : les états transitoires, les équilibres et les attracteurs métamimétiques. Les attracteurs sont les sous-chaînes irréductibles du processus de Markov.

Cet exemple n'a d'autre intérêt que de mettre en évidence les différents types d'état, et de montrer en quoi consiste la dynamique interne. ***Le point fondamental est que la dynamique du système (les flèches entre les états) est entièrement déterminée par l'ensemble des règles que les agents sont susceptibles d'imaginer*** **(*maxi* et *conformiste*)**. Il n'est pas nécessaire de considérer une règle au statut particulier, comme par exemple une dynamique des réplicateurs, pour obtenir une dynamique sur l'ensemble des états possibles.

Ces agents oscillants seront dits *frustrés* (voir l'encart *14* pour une illustration), il n'y a pour eux aucune manière d'être satisfait, ils ont toujours en vue un modèle qu'ils estiment meilleur qu'eux et qu'ils veulent imiter. La trajectoire du système métamimétique se retrouve alors confinée dans un petit nombre d'états possibles mais ne se stabilise jamais. Nous avons alors un *attracteur métamimétique.* L'ensemble des états initiaux à partir desquels la dynamique est susceptible de converger vers un attracteur donné est appelé *bassin d'attraction*.

Étant donné que les processus d'imitation ont de grandes chances d'être soumis à des erreurs, celles-ci entraînant des perturbations dans la dynamique métamimétique, les concepts intéressants de stabilité devront être empruntés à la théorie des processus de Markov perturbés.

III.1.D.d.ii) Les dynamiques bruitées

Le concept le plus populaire dans l'étude des jeux évolutionnistes est celui de *stratégie évolutionnairement stable* (*ESS* pour *evolutionary stable strategy*, cf. encart *13*). L'idée essentielle de l'*ESS* est qu'une population d'agents utilisant une même stratégie est « stable » si elle ne peut pas être envahie par un petit nombre d'individus caractérisés par une stratégie différente. De petites déviations par rapport à l'équilibre sont toujours corrigées par la dynamique du système, qui retourne à l'équilibre en un temps fini.

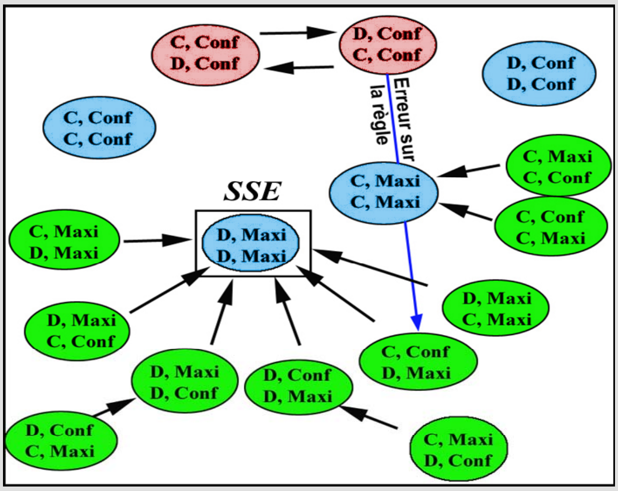
Cependant, comme le soulignent Foster et Young (1990*), ce concept de stabilité n'est pas satisfaisant dans le cadre de systèmes soumis à des perturbations car il est nécessaire de voir l'évolution des fréquences de populations comme un système dynamique. Dans ce cadre, l'ESS n'est qu'un type particulier d'état limite de la population qui se réalise avec une fréquence plus ou moins grande au cours de l'évolution du système. La principale objection que font Foster et Young à la notion d'ESS, est qu'elle traite chaque perturbation comme si elle était isolée. En réalité, dans le cas de systèmes stochastiques, les systèmes sont la plupart du temps soumis *continuellement* à des perturbations, et il n'est pas garanti que le système ait le temps de retourner à l'équilibre entre deux perturbations. Sur le long terme, il est possible qu'une succession de perturbations amène, par accumulation, le système loin du voisinage immédiat d'un ESS. Le temps de retour à cet ESS particulier va alors dépendre de la structure globale de la dynamique et des perturbations. Dans le cas des systèmes bruités, la condition de l'ESS n'est donc pas une condition satisfaisante de stabilité car c'est un concept essentiellement local.

Exemple fondamental **15**

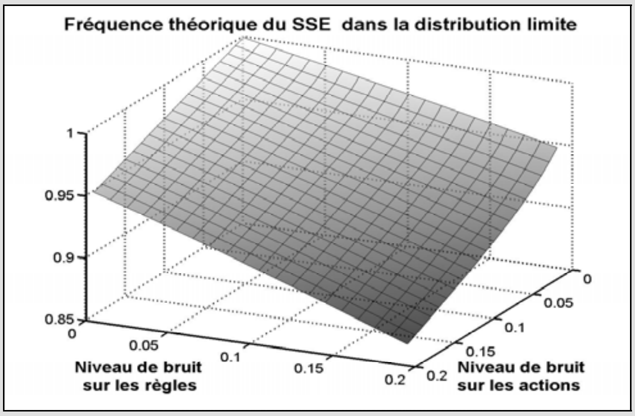
Exemple minimal d'un jeu métamimétique perturbé

Pour illuster l'effet des perturbations sur la dynamique interne d'un jeu métamimétique, reprenons l'exemple précédent (encart *14*) et perturbons le système : avec une probabilité $\varepsilon_r>0$ un agent adopte une règle au hasard au lieu de prendre celle que lui prescrit sa règle ; avec une probabilité $\varepsilon_a>0$, un agent adopte une action au hasard au lieu de prendre celle que lui prescrit sa règle.

Par exemple, si l'état du jeu est *[joueur 1 : (D,conf.); joueur 2 : (C,conf)],* il est possible que le joueur *2* adopte de manière contingente la règle *maxi* (par exemple parce qu'il a inféré par erreur que l'autre joueur était *maxi*). Révisant son comportement à partir de cette règle, il jouera l'action qui a obtenu les gains les plus élevés à la période précédente : *D.* Le joueur *1* quant à lui, deviendra *(C,conf)* pour être comme l'autre. Le système sera donc amené dans l'état *[joueur 1 : (C,conf.); joueur 2 : (D,maxi)]*. La dynamique interne amènera ensuite le système dans l'état contrefactuellement stable où chacun joue *(D,maxi),* jusqu'à ce qu'une nouvelle perturbation amène le système à changer d'attracteur.



Dans le cas de cet exemple minimal, il est facile de calculer le *SSS* en utilisant la méthode proposée par Young 1993*, qui se trouve être réduit à l'état où chacun joue *(D,maxi)*. C'est un *SSE*. Il y a donc eu sélection parmi les cinq attracteurs possibles. Le niveau de bruit étant fixé, la fréquence théorique du *SSE* dans la distribution limite se calcule explicitement comme une fonction du niveau de bruit, en trouvant la distribution stationnaire de la chaîne de Markov irréductible associée (graphe ci-dessous). Nous pouvons voir ci-dessous que le *SSE* est effectivement l'état sélectionné par la dynamique, même en présence d'un fort niveau de bruit.



En particulier, lorsque nous traiterons des systèmes métamimétiques perturbés, l'intuition est que le niveau de bruit devra être relativement élevé pour être réaliste. Un acte d'imitation implique un certain nombre d'étapes, qui toutes sont sujettes à des erreurs : inférence des traits des voisins, détermination du voisin le meilleur, inférence du trait à l'origine de cette performance, et enfin reproduction de ce trait. À toutes ces étapes il est possible que l'agent se trompe et adopte, en fin de compte, une règle d'imitation ou un comportement bien différents de celui qui serait conforme à ses objectifs. Les hommes ne sont pas des machines, leur taux d'erreur, quelle que soit l'activité, n'est jamais négligeable devant *1*. Nous devons donc nous attendre à ce que les systèmes sociaux soient caractérisés par des niveaux de perturbation relativement élevés. Dans le cadre d'une formalisation, le concept de stabilité le plus approprié est alors celui *d'ensemble stochastiquement stable* (SSS pour *stochastically stable set*, cf. encart *13*) proposé par Foster et Young (1990*) (voir également Young 1993* & 2001), défini comme l'ensemble tel que, sur le long terme, il est presque certain que le système reste dans tout voisinage contenant cet ensemble lorsque le niveau de bruit tend vers zéro. Lorsque le niveau de bruit est non nul, le système peut alors être caractérisé par une distribution limite des états du système, cette distribution se concentrant sur certains attracteurs du processus non perturbé. Nous appellerons *états stochastiquement contrefactuellement stables* les attracteurs métamimétiques ainsi sélectionnés par une dynamique bruitée.

III.1.D.e La co-détermination des métadynamiques et de l'espace des stratégies

La méthode actuelle proposée pour trouver l'SSS est difficilement applicable, pour des raisons de complexité, aux exemples que nous allons proposer. Cependant, ce concept de stabilité nous permet déjà de penser de manière très précise la relation entre la dynamique interne d'un système métamimétique et les perturbations. Nous le formalisons ici pour des systèmes métamimétiques où les agents ont tous une borne cognitive égale à *1*, ce qui veut dire que les stratégies s_i sont de la forme $s_i=(b,r)$, où b est un comportement et r une règle métamimétique.

Commençons par formaliser les dynamiques métamimétiques en termes de chaînes de Markov pour des agents sans mémoire, de borne cognitive égale à *1*. Cela va nous obliger à manipuler des notations lourdes, mais cela nous amènera à une expression synthétique de la matrice de transition. Supposons que nous ayons un certain ensemble R de règles et un certain ensemble B de comportements qui déterminent un ensemble fini $S=B\times R$ de stratégies possibles. Soit un système composé de N agents. Un état $\sigma \in S^N$ du système est alors un vecteur de S^N donnant pour chaque agent i la stratégie choisie $s_i \in S$. $\sigma=(s_1,\ldots,s_N)$. Le cardinal de l'ensemble des états du système est donc $|S|^N$. Pour exprimer $P^0_{\sigma\sigma'}$ en termes de révision de règles avec $\sigma'=(s'_1,\ldots,s'_N)$ il va nous falloir écrire quelque chose comme :

$$P^0_{\sigma\sigma'}=\prod_{k=1..N} P(s_k \rightarrow s'_k)$$

La fonction Γ définit les voisinages de chaque agent, Γ_i étant l'ensemble des voisins de l'agent. Etant donnés Γ et l'état du système σ, nous pouvons déterminer les gains et donc reconstituer[63] pour chaque agent i l'ensemble de ses traits τ_i ; puis l'ensemble des traits qu'il perçoit (τ_i, τ_{-i}) et qu'il pourra prendre en compte dans ses décisions. Pour alléger les notations, nous noterons par extension $\Gamma(s_i)=(\tau_i, \tau_{-i})=\{\tau_k, k\in\Gamma_i\}\in T_{p,i}$ et $\Gamma(\sigma)=(\Gamma(s_1),\ldots\ \Gamma(s_N))$. Dans cette notation, la fonction Γ reconstitue donc les traits perçus par chacun des agents à partir de l'état du système.

Γ ne dépend que de la topologie du réseau social.

Rappelons qu'une règle d'imitation r dans le cas le plus général est une variable aléatoire sur S indexée par le voisinage de l'agent (*cf. III.1.B.b.*). Notons $p_r^{\Gamma(si)}$ la distribution de probabilité correspondante sur S lorsque le voisinage de l'agent est $\Gamma(s_i)$. La probabilité pour qu'un agent utilisant la stratégie $s_i=(b,r)$ adopte la stratégie $s'\in S$ est alors $p_r^{\Gamma(si)}(s')$. Pour définir la probabilité de transition $P^0_{\sigma\sigma'}$ il nous reste à considérer la fonction F dont les composantes $F_i : T_{p,i}\times S \rightarrow \Re$ sont données par :

$$F_i\,(\Gamma(s_i),s')=P(r(\Gamma(s_i))=s')=p_r^{\Gamma(s_i)}(s') \ ;$$

avec $\Gamma(s_i)=(\tau_i, \tau_{-i})$ et par exemple $\tau_i=(b,r,g)$, (comportement, règle et gains de l'agent i)

F ne dépend que de l'espace des stratégies considéré.

Nous avons alors *:*

$$P^0_{\sigma\sigma'}=\prod_{i=1..N} F_i(\Gamma(s_i),s'_i)$$

Nous pouvons lire sur cette expression que dans le cas des agents sans mémoire, P^0 est *uniquement déterminée* par F et Γ. *La dynamique définie par la matrice de transition P^0 est une propriété intrinsèque de l'espace des stratégies S et de la topologie du réseau Γ.*

P^0 est un exemple de la dynamique *2* proposée dans l'introduction, et correspond à la *dynamique interne du système constitué de l'ensemble des agents*. Elle reflète *la structure de*

[63] La stratégie d'un agent ne suffit pas à elle seule à déterminer tous les traits de l'agent puisque certains traits, comme par exemple les gains, dépendent des stratégies des autres joueurs

l'espace des règles métamimétiques (nous verrons comment il serait possible d'endogéneiser Γ au chapitre *III.3.C*). Les distributions stationnaires associées à P^0 sont les attracteurs métamimétiques. Etant donné un état initial, le système ira vers l'un des attracteurs métamimétiques dont le bassin d'attraction contient cet état. Mentionnons au passage que cette description s'étend naturellement au cas où les agents ont une mémoire de taille bornée par un nombre *m*. Il suffit alors de considérer que l'espace d'états du système est la concaténation des *m* derniers vecteurs σ (voir Young 1993 pour un exemple de tel modèle).

Considérons maintenant P^ε un processus de Markov perturbé où, à chaque pas de temps, chaque agent a une certaine probabilité de commettre des erreurs sur le choix de ses actions et de ses métarègles, ε mesurant de manière générale le niveau de bruit par rapport au processus original $(\forall\ \sigma,\sigma',\ \lim_{\varepsilon\to 0} P^\varepsilon_{\sigma\sigma'} = P^0)$. Le théorème proposé par Young (1993*, cf. encart *13*) nous dit que si la forme du bruit respecte certaines conditions[64], la distribution stationnaire de P^ε convergera vers une distribution particulière μ_0, sélectionnant ainsi l'une des distributions stationnaires du processus P^0, c'est-à-dire, une distribution *particulière* sur les attracteurs métamimétiques, qui constitueront dans leur ensemble, par définition, le SSS du système. *Quel que soit l'état initial σ,* pour tout $\sigma' \in S$, la probabilité pour que le système soit dans l'état σ' au temps *t*, sera égale à $\mu_0(\sigma')$ lorsque *t* tend vers l'infini. Dans le cas où ε est fixé, l'unique distribution stationnaire μ_ε du processus perturbé P^ε sera alors d'autant plus concentrée autour du support de μ_0 que ε sera petit.

Nous pouvons maintenant aborder à nouveau les systèmes métamimétiques sous l'angle de la clôture opérationnelle. Soit Σ un système de *N* agents métamimétiques pouvant concevoir un espace de règle *R*. Sur l'espace-produit définissant toutes les dynamiques possibles sur l'ensemble des états possibles de Σ *(cf. III.1.C.d)*, une première contrainte est imposée par la cohérence interne du système, qui se traduit en termes d'auto-cohérence des métarègles. Celle-ci définit un processus de Makov P^0 sur l'ensemble des états possibles de Σ. La particularité des systèmes métamimétiques est alors que la description des états possibles du système (l'ensemble des agents et l'ensemble des règles que peut adopter chaque agent) définit *de fait* une dynamique sur ces états, quelle que soit la taille de l'espace *R*. *Il y a auto-organisation au sens où la description des entités composant le système définit une*

[64] Les conditions générales sont que P^ε est la matrice de transition d'une chaîne de Markov *X*, où ε est un scalaire qui définit le niveau général de bruit et qui prend ses valeurs dans un certain intervalle [0,a], et où pour tout $x,y \in X$: **1)** P^ε est irréductible et apériodique pour tout $\varepsilon \in [0,a]$; **2)** $\lim_{\varepsilon\to 0} P^\varepsilon_{xy} = P^0_{xy}$;
3) $\exists\varepsilon,\ P^\varepsilon_{xy} > 0 \Rightarrow \exists r \geq 0, \lim_{\varepsilon\to 0}(\varepsilon^{-r} P^\varepsilon_{xy}) < \infty$.

distribution endogène sur les métarègles d'évolution de ces entités. En l'absence de bruit, Σ atteindra alors, suivant ses conditions initiales, différents régimes dynamiques, qui seront caractéristiques d'un attracteur métamimétique particulier.

Lorsque le système est soumis à des perturbations, à cette première contrainte s'en ajoute une deuxième liée à la structure des perturbations, ce couplage déterminant un *unique régime dynamique* P^{ε} pour le système, qui lui fait parcourir de manière stochastique l'ensemble de ses états avec une distribution de probabilité concentrée autour de *certains* attracteurs métamimétiques. La dynamique sur le long terme devient alors *indépendante de l'état initial du système*. Mais ce n'est pas cette indépendance qui est remarquable ici. Ce phénomène est en effet assez classique pour des chaînes de Markov. Le phénomène important est la sélection par le bruit d'attracteurs métamimétiques privilégiés parmi un ensemble d'attracteurs *engendré par l'espace des stratégies*. Le couplage conduit donc à une *structuration du système par le bruit*.

Ceci nous permet d'avancer deux propositions concernant la manière de voir dans le cadre de *l'individualisme méthodologique complexe,* la relation entre l'individu et le collectif dans une population métamimétique :

> **Thèse 1 : La sélection des distributions de comportements sociaux, en l'absence de perturbation, est entièrement déterminée par la classe de règles que les individus peuvent envisager et par le réseau social qu'ils forment.**
>
> **Thèse 2 : En présence de perturbations aux différents niveaux des interactions sociales, la sélection de la distribution de comportements sociaux se concentre autour des états stochastiquement stables de la dynamique non perturbée. Cette distribution dépend de la structure des perturbations, de la classe de règles que les individus peuvent envisager, et du réseau social qu'ils forment.**

Enfin, nous pouvons mentionner une troisième thèse que nous ne pourrons évoquer que brièvement à la fin de cet ouvrage (*cf. III.3.C*) :

> **Thèse 3 : Etant données des contraintes topologiques environnementales, et une structure de perturbations, la distribution des réseaux sociaux susceptibles de se former est entièrement déterminée par la classe de règles que les individus peuvent envisager.**

Nous pouvons maintenant définir plus précisément les termes de notre titre dans le cadre d'une population métamimétique :

- ***Culture*** *: Ensemble des traits modifiables des agents, considéré comme un tout.*
- ***Cognition Sociale*** *: Ensemble des règles métamimétiques des agents, prises comme un tout. C'est la composante procédurale de la culture (vecteur* σ*)*
- ***Métadynamiques*** *: Dynamiques définies par* P^0 *(ou* P^{ε} *selon les cas).*

III.1.D.f Bruit et nouveauté dans les jeux métamimétiques

Le cadre de la théorie des jeux stochastiques va maintenant nous permettre de faire une distinction fondamentale entre deux types de perturbation : le bruit et la nouveauté. Nous pouvons dire de manière générale qu'il y a perturbation lorsqu'un agent change un de ses traits modifiables en dehors de la stricte application des règles qu'il s'est données.

Ce genre de perturbation peut avoir deux types de conséquences très différentes. Pour les apprécier, il faut rappeler que dans les processus mimétiques non perturbés, il n'y a pas apparition de traits qualitativement nouveaux. Tout ce qui est modifié est une combinaison de ce qui existait déjà dans le voisinage de l'agent. En revanche, une perturbation peut avoir pour effet de remplacer un trait par un autre déjà existant dans le système ou de créer un trait totalement nouveau. Le deuxième cas est analogue à ce qui arrive lorsque par exemple, une idée nouvelle jaillit d'un malentendu au cours d'une discussion. Il y a alors création de nouveauté. Nous verrons au *III.2.C.c.iv* une illustration des différences qualitatives de ces deux types d'erreur.

Le premier type de perturbation peut être appelé *bruit. C*'est ce qui est modélisé lorsque l'on passe d'un processus de Markov défini par une matrice de transition P^0 au processus de Markov perturbé P^ε. Celui-ci peut avoir une origine endogène, c'est la part d'aléatoire dans le compromis exploration/exploitation effectué par les agents, ou exogène. Le deuxième type de perturbation peut être interprété comme une modification de la matrice P^0 (invention de nouvelles règles), qui permet au système d'accéder à de nouveaux états. Nous avons alors un *changement d'espace des phases du système*[65].

Enfin, il peut y avoir perturbation du système lorsque que la topologie de l'espace est elle-même modifiée, modifiant ainsi les voisinages des agents. Ceci peut être vu comme l'analogue d'une innovation technologique. Ainsi, la presse écrite, la radio, la télévision et Internet ont radicalement changé la nature des voisinages dans l'espace et dans le temps, changeant la structure des influences sociales (Bandura 1977), et certaines institutions, comme par exemple l'INSEE, ont proposé de nouveaux modes d'accès à ces voisinages en présentant les valeurs agrégées de certains traits. Il n'est certainement pas anodin que les sondages soient interdits dans la semaine qui précède les élections, et celles-ci seraient sans doute bien différentes s'il n'y avait pas de sondages du tout.

[65] Je remercie Guiseppe Longo d'avoir attiré mon attention sur cette formulation.

Résumé du chapitre III.1

Ce chapitre a commencé par une question relative à la théorie de l'auto-organisation : *comment peut-on concevoir un système qui élabore sa propre métarègle d'évolution ?* Cette question est la généralisation de la problématique soulevée dans la partie *I* où il était question de rendre endogène une distribution sur différents types de comportements sociaux.

Fidèles à notre intuition de la partie *I,* et en tirant parti des suggestions de la partie *II,* nous nous sommes intéressés aux dynamiques mimétiques. Nous avons proposé une définition formelle de l'imitation telle que les règles d'imitation puissent être leur propre métarègle, contournant ainsi l'argument avancé par d'Ashby (*1962*) affirmant l'impossibilité d'une auto-organisation « forte ». Nous avons alors montré que ceci permet de concevoir des systèmes dynamiques ayant la propriété de *clôture opérationnelle* : les *jeux métamimétiques*. Ceux-ci sont constitués d'agents mimétiques dont les métarègles, caractérisées notamment par ce *qu'ils* considèrent comme bon, évoluent de façon *spontanée* au cours de leurs interactions avec d'autres agents, lorsque leurs métarègles témoignent d'un défaut *d'auto-cohérence.*

.

Les jeux métamimétiques sont donc construits autour d'un principe d'imitation, qui n'a pas de contenu en soi, et un ensemble de significations possibles, de définitions possibles de meilleur, qui s'organise sous ce principe. La définition particulière de meilleur adoptée par un agent évolue alors sous l'influence de la dynamique métamimétique elle-même, qui définit la *métadynamique* de la *cognition sociale*. Les dynamiques de ces jeux sont décrites par des équations appartenant à la classe des réplications par imitation, dont nous pouvons montrer que, contrairement à ce qui a déjà été proposé, elles ne sont pas réductibles en général à des dynamiques de réplicateurs mono-critère. Pour les étudier, il faut considérer le cadre plus général des processus de Markov, dont le concept de stabilité adéquat, dans le cas de dynamiques perturbées, est la notion *d'ensemble stochastiquement stable*.

Dans le cas non perturbé, un jeu métamimétique peut atteindre *un équilibre métamimétique, i.e.* une configuration stable où les agents cessent d'imiter, aucun d'entre eux ne pouvant s'imaginer être mieux qu'il n'est en se mettant *contrefactuellement* à la place de ses voisins ; ou une classe de configurations plus générale, où certains agents sont frustrés et ne cessent d'imiter : un *attracteur métamimétique*.

Les concepts des jeux évolutionnistes stochastiques nous permettent alors de concevoir de manière assez précise les systèmes métamimétiques perturbés sous l'angle des systèmes opérationnellement clos. La double contrainte de leur cohérence interne et de la forme des perturbations détermine de manière *unique* le régime dynamique du système, lui faisant parcourir de manière stochastique l'ensemble de ses états avec une distribution de probabilité concentrée autour de *certains* attracteurs métamimétiques. Cette dynamique, et donc la distribution des règles d'imitation sur le long terme, est alors *indépendante* des conditions initiales. Cette approche nous a permis également de faire la distinction entre *nouveauté* et *bruit*, la première modifiant la structure interne du jeu métamimétique, le second sélectionnant dans cette structure certains aspects qui seront exprimés.

Enfin, nous avons pu donner une définition précise des termes *culture*, *cognition sociale* et *métadynamiques*.

Ceci étant, il reste à voir en pratique quels types de propriétés sont susceptibles de présenter de tels systèmes, ce qui fera l'objet du prochain chapitre.