

## Trois modèles informatiques pour l'émergence du langage

Bernard Victorri

### Pourquoi des modèles informatiques ?

Qui a décidé d'appeler *table* l'objet que l'on désigne ainsi ? La réponse est simple : personne ! Alors comment ce mot s'est-il imposé ? On peut répondre qu'il a une histoire, qu'il vient du mot latin *tabula* (qui voulait dire planche<sup>1</sup>), qui lui-même provenait sans doute d'un mot d'une langue encore plus ancienne... Oui, mais comment tout cela a-t-il commencé ? Y a-t-il eu au départ une personne ou un groupe pour choisir quels mots allaient désigner chaque chose ? Sinon par quel miracle les gens se sont-ils compris ?

Pour aborder ce type de questions, des chercheurs utilisent l'informatique. Ils simulent sur ordinateur, de manière bien sûr extrêmement simplifiée, des communautés d'agents qui interagissent entre eux et ils essaient de déterminer dans quelles conditions apparaît telle ou telle capacité de communication, telle ou telle propriété que l'on retrouve ou non dans nos langues. On dispose ainsi de modèles expérimentaux, modifiables à volonté, qui permettent de réfléchir concrètement à l'émergence des propriétés du langage. Cette activité de modélisation peut se révéler très fructueuse dans les recherches sur l'origine et l'évolution du langage, à condition de bien mesurer ses limites : l'objectif n'est pas de modéliser de façon « réaliste » ces phénomènes hautement complexes, mais de rechercher les conditions minimales dans lesquelles peuvent émerger les propriétés linguistiques auxquelles on s'intéresse.

Etant donné le caractère foisonnant de ce domaine de recherche, il est pratiquement impossible d'en donner une vue exhaustive qui ne se réduise pas à un survol superficiel et plutôt frustrant. Nous avons donc choisi de nous centrer sur quelques modèles, représentatifs de l'ensemble du champ, de manière à mieux illustrer l'intérêt de ce type de recherches.

### Un premier modèle d'émergence d'un lexique par adaptation « génétique »

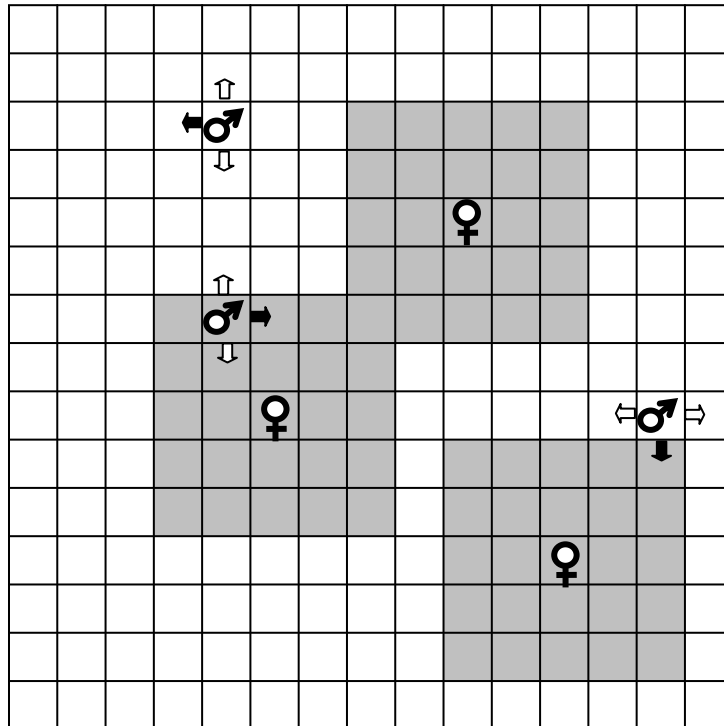
Parmi les premières recherches dans ce domaine, c'est sans doute le travail de Werner et Dyer<sup>2</sup> qui a eu le plus grand impact. Ces chercheurs ont en effet montré, avec un dispositif assez simple, qu'un lexique rudimentaire pouvait émerger dans une population d'agents à la seule condition que ce lexique joue un rôle « vital » pour la perpétuation de cette population au cours du temps. Le système conçu par Werner et Dyer s'inscrit dans ce que l'on appelle les modèles de *vie artificielle*. Il s'agit de systèmes informatiques qui simulent un mécanisme de sélection naturelle : des agents évoluent dans un espace dans lequel ils interagissent et se reproduisent suivant un *algorithme génétique*. Chaque agent possède un « génome » qui régit son comportement, et tout agent « nouveau-né » hérite du patrimoine génétique de ses « parents » avec des mutations aléatoires qui engendrent en permanence de la diversité dans la population. Ainsi, toute mutation qui rend un agent plus performant (c'est-à-dire qui augmente son succès reproductif) va se propager dans la population. Après un certain nombre de générations, seuls subsistent de façon stable des génomes qui confèrent aux agents un comportement adapté à la survie de la population.

La mise en scène de l'expérience de Werner et Dyer est la suivante. La population d'agents est composée de « mâles » et de « femelles » disposés sur les cases d'une grande grille carrée. Les femelles restent toujours immobiles alors que les mâles peuvent se déplacer (cf. fig. 1). Si un mâle rencontre une femelle, ils se reproduisent, donnant naissance à deux nouveaux agents, un mâle et une femelle (on supprime aussi aléatoirement un mâle et une femelle de la

<sup>1</sup> En latin *table* se disait *mensa*, mot qui a donné *mesa* en espagnol et *masa* en roumain.

<sup>2</sup> Werner, G., Dyer M., Evolution of Communication in Artificial Organisms, in C.Langton, et.al. (ed.) *Artificial Life II*. Addison-Wesley, p. 659-687, 1991.

grille, de manière à ce que la taille de la population reste constante). Les femelles sont dotées d'une capacité « visuelle » : elles perçoivent tout agent mâle qui se situe dans une case voisine (dans un périmètre de 5x 5 cases autour d'elles). Elles peuvent alors émettre des sons qui sont perçus par les mâles qui passent à proximité. Les mâles, eux, ne voient rien, mais ils ont la capacité de choisir leur action parmi quatre mouvements possibles (aller tout droit, tourner à droite ou à gauche, rester immobile) en fonction des sons qu'ils perçoivent.



**Figure 1 : L'expérience de Werner et Dyer**

Les zones grisées représentent le champ de perception visuelle des femelles et les flèches l'orientation (en noir) et les déplacements possibles des mâles. L'expérience a été menée avec 1600 agents sur une grille de 200x200 cases.

Chaque agent est muni d'un génome complet, constitué de deux parties : une partie utilisée par les mâles, qui détermine la direction de leurs mouvements en fonction des sons perçus, et une partie utilisée par les femelles, qui détermine le type de son émis en fonction de la position des mâles dans leur champ visuel. Au départ de l'expérience, les génomes sont choisis aléatoirement pour chaque agent. Il n'y a donc aucune cohérence entre les sons émis par les femelles et les déplacements des mâles, et les rencontres entre mâles et femelles sont entièrement fortuites. Mais au cours de la simulation on voit se mettre en place progressivement un comportement cohérent des agents. Les femelles, dans leur grande majorité, émettent des sons différenciés suivant la position et l'orientation du mâle dans leur champ visuel, et les mâles réagissent la plupart du temps de manière adaptée à ces sons, en se dirigeant vers la femelle émettrice. C'est donc un véritable code de communication, constitué de signes arbitraires et partagé par une majorité d'agents, qui a émergé grâce au mécanisme de sélection implémenté par l'algorithme génétique. Chaque son a pris la signification d'une instruction précise (« tout droit ! », « à droite ! », « à gauche ! », « ne bouge plus ! ») qui est émis à bon escient par les femelles, et qui est correctement interprété par les mâles.

Ainsi cette expérience prouve bien qu'une convention peut effectivement s'établir au cours d'interactions individuelles dans une population, dans des conditions tout à fait minimales : il suffit en somme que le système de communication soit *potentiellement* utile à la survie des individus, ou plutôt de leur génome, pour que le mécanisme de sélection génétique aboutisse à son émergence. Le modèle de Werner et Dyer présente bien sûr un certain nombre de caractéristiques qui ne conviennent pas pour la modélisation de l'émergence du langage humain, même si l'on fait abstraction de la « mise en scène » du modèle, forcément caricaturale, pour ne retenir que les principes d'interaction entre agents et les mécanismes d'adaptation mis en oeuvre. Notamment, le code obtenu est inscrit directement dans le génome des agents, ce qui ne saurait être le cas pour le lexique de nos langues<sup>3</sup>. Mais il n'en reste pas moins que ce travail a joué un rôle fondateur en montrant tout l'intérêt potentiel de ce type de recherches.

### **Les « têtes » parlantes**

A la suite de Werner et Dyer, de nombreux chercheurs ont proposé des modèles d'émergence d'un lexique dans une communauté d'agents, en utilisant différents mécanismes et les scénarios les plus divers. Nous allons nous centrer ici sur les travaux de Steels et Kaplan<sup>4</sup>, qui illustrent bien ce courant de recherche.

Dans ces modèles, les agents sont munis d'une mémoire associative, qui s'enrichit au cours des interactions. Autrement dit, contrairement au modèle de Werner et Dyer, les agents ne « naissent » pas avec un code langagier inscrit dans leur génome : ils « apprennent », tout au long de leur existence, à associer des sons avec des sens. Les interactions entre agents consistent en « jeux de dénomination » (*naming games*). Les détails précis du jeu varient d'une expérience à l'autre, mais typiquement ils se déroulent de la manière suivante. Un premier agent, le « locuteur », sélectionne un objet de son environnement et le nomme en prononçant un « mot ». Le deuxième agent, « l'interlocuteur », entend le mot émis, et doit désigner l'objet correspondant. Si l'objet désigné est bien celui qu'avait sélectionné le locuteur, le jeu est un succès, sinon c'est un échec. L'interlocuteur modifie alors sa mémoire associative en fonction du résultat du jeu.

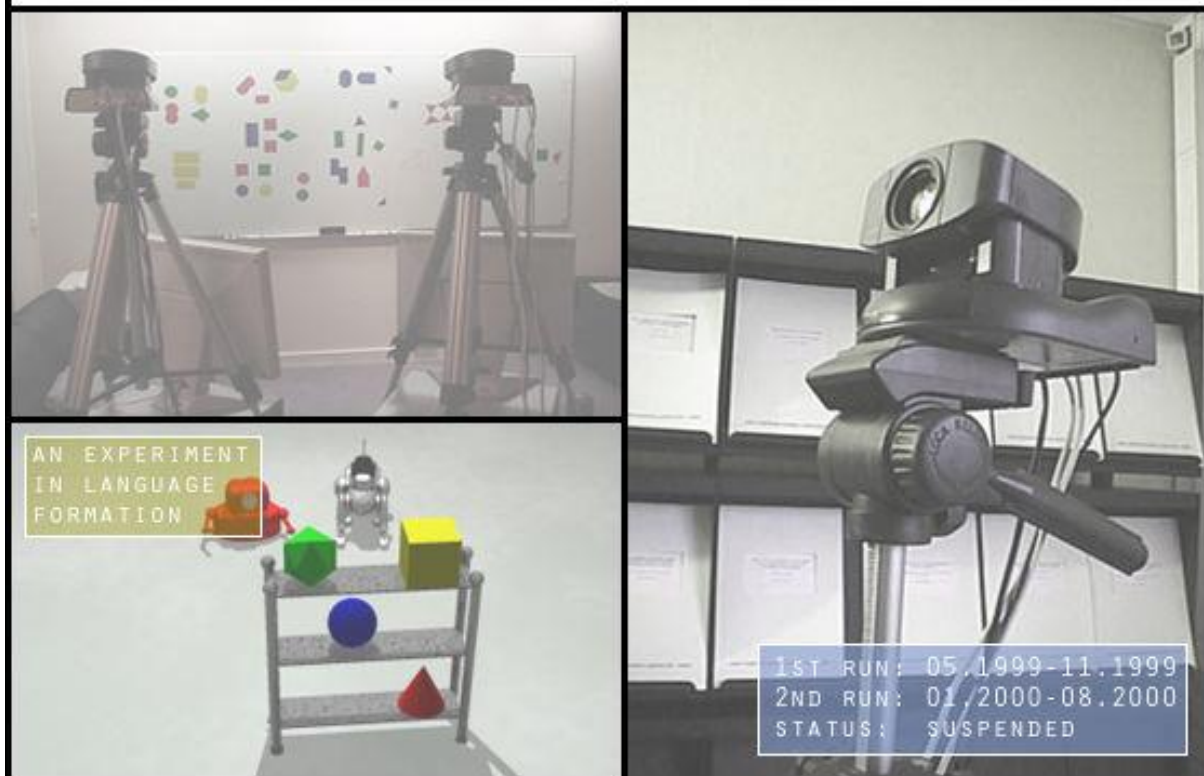
Dans les premières expériences, tout le processus était entièrement simulé sur ordinateur. Par la suite, ces chercheurs ont construit de véritables robots, des « têtes parlantes » (*talking heads* : voir la photo fig. 2). Des agents logiciels viennent tour à tour manipuler les robots pour jouer à un jeu de dénomination avec différentes formes géométriques présentes sur un tableau. Les mots qui constituent le lexique émergent désignent diverses propriétés de ces formes : triangle, carré, rouge, vert, petit, en haut, tout à droite, etc.

---

<sup>3</sup>. En un sens, ce modèle est plus à même d'expliquer l'émergence de systèmes de communication animale plus stéréotypés, comme le chant des oiseaux. C'est d'ailleurs dans cette direction que Werner a poursuivi ses travaux.

<sup>4</sup> Kaplan, F., *La naissance d'une langue chez les robots*, Hermès, 2001.

# THE TALKING HEADS



**Figure 2 : le dispositif des têtes parlantes**

Ce sont des systèmes robotiques munis de caméras orientables et d'un système de traitement d'image. Ils peuvent donc percevoir et « pointer » (par l'orientation de la caméra) différentes formes géométriques sur un tableau.

Dans ce type d'expérience robotique dite « située » ou « ancrée dans le réel », de nombreux facteurs d'imprécision interviennent qui rendent la communication plus incertaine : variations naturelles de luminosité, variations des positions des objets sur le tableau, mouvements approximatifs des caméras, imprécision du système de perception (erreurs de segmentation de l'image, par exemple), etc. De plus, la diversité des propriétés permettant de désigner les objets introduit aussi une source de confusion : un même objet peut être désigné par sa couleur par le locuteur et par sa position par l'interlocuteur... On se trouve donc dans des conditions de communication assez réalistes qui rendent l'expérimentation bien plus intéressante.

L'une des expériences a été menée « en vraie grandeur » pendant plusieurs mois, avec le concours de centaines d'internautes. Plusieurs plate-formes robotiques ont été installées dans des villes différentes (Paris, Bruxelles, Tokyo, etc.). Un millier d'agents logiciels, créés par les internautes, pouvaient migrer de plate-forme en plate-forme, formant ainsi une vaste communauté interagissant 24 heures sur 24. Qui plus est, les internautes pouvaient enseigner des mots de leur langue à leurs agents, ce qui augmentait le caractère ludique de l'expérience. Cette expérience a constitué un succès assez spectaculaire. Comme le souligne Kaplan<sup>5</sup> :

<sup>5</sup> Kaplan, F. *L'émergence d'un lexique dans une population d'agents autonomes*, Ph.D thesis, Université Paris VI, 2000., p. 211.

« Malgré les erreurs causées par le caractère ancré et situé des interactions, malgré le flux perpétuel de nouveaux agents, malgré les scènes régulièrement renouvelées, malgré le caractère incohérent des enseignements divulgués par les utilisateurs à leur agent, un lexique a pu émerger. Ce lexique, mélange de mots inventés par les agents et de mots enseignés par des humains, s'est transmis culturellement de façon très stable. Le cœur de ce lexique est constitué par des mots correspondant à des sens qui optimisent la robustesse, la généralité, la facilité d'apprentissage et la réutilisabilité. Ils sont parfaitement adaptés aux scènes que les agents rencontrent dans les environnements qui leur sont présentés. »

Ainsi ces jeux de dénomination fournissent un cadre dans lequel peut émerger un lexique conventionnel qui possède notamment des propriétés dynamiques d'apprentissage et d'évolution que l'on peut rapprocher de phénomènes observables dans le lexique des langues humaines. Ces modèles restent bien sûr très frustrés et limités, mais cela suffit à prouver que ces propriétés peuvent être acquises sans que l'on ait besoin de faire appel à des mécanismes cognitifs spécialisés, encore moins à des facultés innées.

### **Emergence de propriétés syntaxiques**

Les chercheurs se sont aussi penchés sur la modélisation de l'émergence de propriétés structurelles des langues, notamment aux niveaux phonologique et syntaxique. On sait qu'au delà de l'extraordinaire diversité des langues on a mis en évidence un certain nombre de régularités auxquelles obéissent toutes les langues.

Nous ne prendrons qu'un exemple, dans le domaine de la syntaxe, mais il est très représentatif de ce type de phénomènes. Il s'agit des propositions relatives. La plupart des langues possèdent des pronoms relatifs. Mais ces pronoms sont plus ou moins contraints suivant les langues. Certaines admettent des pronoms relatifs sujets (l'équivalent de *qui* en français) ; d'autres admettent des pronoms compléments d'objet (l'équivalent de *que*). Mais ce qui est remarquable, c'est que toutes les langues qui possèdent un pronom objet possèdent aussi un pronom sujet, alors que l'inverse n'est pas vrai. Tout se passe comme s'il fallait d'abord être capable de fabriquer des relatives avec un pronom sujet, telle que *L'homme qui a épousé Marie*, avant de pouvoir fabriquer des relatives avec un pronom objet, comme *L'homme que Marie a épousé*. C'est ce que l'on appelle un *universel implicationnel* ou *hiérarchique*.

En fait, dans le cas des propositions relatives, la hiérarchie de se limite pas aux pronoms sujet et objet. Elle s'applique à toutes les fonctions syntaxiques possibles du pronom, qui « apparaissent » dans les langues dans l'ordre suivant : sujet, objet direct, objet indirect, circonstanciel, complément de nom, comparatif. Par exemple, pour qu'une langue puisse utiliser un pronom complément de nom (comme dans : *L'homme dont Marie est l'épouse*), il faut qu'elle possède tous les pronoms qui le précèdent dans la hiérarchie, notamment l'objet indirect (à l'œuvre dans : *L'homme à qui Marie a dit oui*).

Comment expliquer cette curieuse propriété ? Certains y ont vu l'effet d'un mécanisme inné : on naîtrait tous avec un « organe du langage » qui imposerait cette hiérarchie. Ensuite, suivant la langue que l'on acquiert, cet organe s'ajusterait pour ne produire que les pronoms possibles dans la langue en question : il suffirait donc d'un seul paramètre pour fixer la « barre » qui sépare les pronoms acceptables dans cette langue de ceux qui ne le sont pas. L'acquisition de ces universaux implicationnels, a priori assez bizarres et complexes, serait donc en fait très simple : toute l'apparente complexité proviendrait de l'organe inné. Ce serait même l'une des principales « preuves » de l'existence du caractère inné de la faculté de langage.

C'est dans le but de contester cette explication « génétique » que Simon Kirby<sup>6</sup> a construit un modèle informatique de ce type de phénomène. Comme dans le cas du lexique, il a pu

---

<sup>6</sup> Kirby S., *Function, Selection and Innateness: The Emergence of Language Universals*, Oxford University Press, 1999.

montrer que de tels universaux implicationnels pouvaient émerger dans certaines conditions dans des populations d'agents, sans que l'on ait besoin d'invoquer un mécanisme inné.

Le principe général des simulations est le suivant. On se donne une population composée de deux générations d'agents :

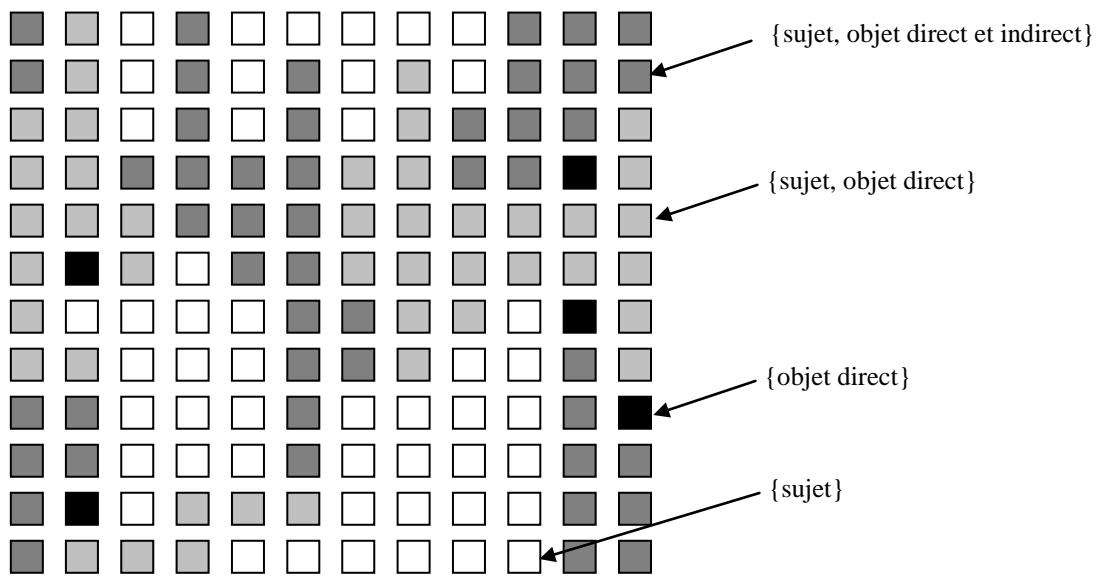
- La génération des locuteurs, munis chacun d'une « grammaire » qui leur permet de produire des phrases obéissant aux règles de cette grammaire. Dans notre cas, les grammaires servent à produire des propositions relatives. Chaque grammaire permet ou non tel type de pronom.
- La génération des apprenants, qui doivent acquérir une grammaire. Pour ce faire, chaque apprenant est confronté à un certain nombre de productions de locuteurs, et il construit sa grammaire en fonction de cet échantillon. Ainsi un apprenant confronté à des relatives dont le pronom est en position sujet, objet direct et indirect construira la grammaire qui permet ces trois fonctions, tandis qu'un apprenant confronté à des exemples ne comportant que des relatives avec des pronoms objets directs construira la grammaire qui ne permet que ces pronoms (c'est donc une grammaire « déviante » au sens où on ne trouve pas une telle grammaire dans les langues humaines).

A chaque cycle évolutif, chaque locuteur produit donc des énoncés obéissant aux règles de sa grammaire et chaque apprenant sélectionne un échantillon parmi les énoncés produits pour acquérir sa propre grammaire. Les apprenants remplacent alors les locuteurs, une nouvelle génération d'apprenants est créée et un nouveau cycle peut commencer. Après un certain nombre de cycles, on observe quelles grammaires se sont stabilisées au cours du processus.

Nous n'entrerons pas ici dans le détail des expériences. Disons simplement que l'universel implicationnel émerge, si les quatre conditions suivantes sont réalisées :

- existence d'une pression de sélection par les apprenants qui privilégie les productions langagières de complexité structurelle plus faible (la complexité structurelle croît avec la difficulté d'analyse syntaxique d'une phrase) ;
- existence d'une pression antagoniste de sélection par les locuteurs de formulations de complexité morphologique plus faible (la complexité morphologique croît avec le nombre d'unités linguistiques nécessaires présents dans une phrase) ;
- prise en compte d'une répartition spatiale des agents dans laquelle chaque apprenant n'interagit qu'avec un petit nombre de locuteurs voisins ;
- introduction de facteurs de variation (variantes syntaxiques, réductions morphologiques, grammaticalisations, etc.) qui changent le poids relatif des deux types de complexité.

Sous ces quatre conditions, on obtient non seulement l'universel implicationnel (cf. fig. 3), mais aussi un certain nombre de caractéristiques intéressantes de l'évolution des langues (notamment le rôle du bilinguisme à la frontière entre deux aires de répartition de langues de propriétés différentes).



**Figure 3 : Stabilisation d'un universel implicatif**

Chaque case représente un agent et sa couleur indique la grammaire qu'il a acquise. Une seule grammaire déviante (couleur noire : {objet direct}) apparaît aux frontières entre deux grammaires acceptables mais de manière transitoire, lors du basculement d'une grammaire acceptable à une autre.

## Conclusion

Ainsi les deux modèles que nous venons de présenter, celui de Steels et Kaplan sur le lexique et celui de Kirby sur la syntaxe, vont, d'un point de vue théorique, dans le même sens. Ils montrent que les spécificités du langage humain sont compatibles avec l'hypothèse d'une faculté d'acquisition du langage reposant sur des mécanismes cognitifs généraux, à l'œuvre dans d'autres activités cognitives que le langage. Bien entendu, nous avons déjà insisté sur ce point, ces modèles ne sauraient à eux seuls « prouver » que l'émergence de ces spécificités est due à ces mécanismes généraux. Mais ils montrent que cette hypothèse est plausible, et à ce titre, ils apportent des éléments consistants de discussion dans un débat trop souvent dominé par des arguments d'autorité.

Ces travaux, qui n'en sont qu'à leurs débuts, constituent donc un domaine de recherche prometteur appelé à prendre une place de plus en plus importante dans les prochaines années dans les débats sur les problèmes passionnants et difficiles que pose l'origine du langage et des langues.