

Le cerveau des *norns*

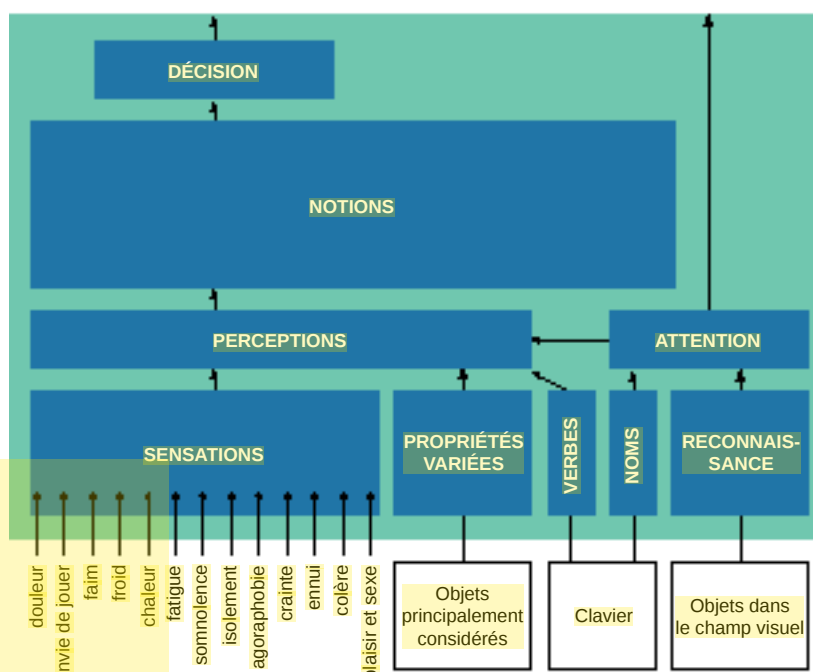
Les *norns* et les *grendels* sont capables d'apprendre, parce qu'ils ont, en guise de cerveau, un réseau de neurones artificiels, qui transforme les stimuli externes et les sensations en un état interne, lequel est ensuite converti en actions. La structure de ce «cerveau» est déterminée génétiquement, comme la plupart des caractéristiques des *norns*. Il est possible que, par suite de mutations, les générations futures de *norns* disposent d'un cerveau plus gros, plus petit ou construit différemment. La structure de base décrite ici est celle dont sont pourvues les créatures de la première génération.

Les réseaux de neurones formels, tel celui qui constitue le «cerveau» des *norns*, sont composés d'unités élémentaires de calcul nommées neurones formels. Comme les vrais neurones, ces derniers reçoivent des signaux des autres neurones formels. Les réseaux de neurones classiques sont généralement organisés en couches, l'information circulant d'une couche à la couche immédiatement supérieure. Elle passe ainsi de la couche d'entrée (les organes sensoriels) jusqu'à la couche de sortie, où se manifeste le résultat de l'activité neuronale. Chaque neurone convertit le signal entrant en un nombre (qui représente l'activité du neurone), qu'il transmet ensuite aux neurones plus en aval ; l'information ne tourne pas en rond.

Les neurones formels des *norns* sont équipés d'une petite mémoire à court terme et d'une petite mémoire à long terme : de la sorte, les informations mémorisées ne déterminent pas entièrement le comportement, mais ce qui s'est déjà produit intervient avec un effet qui s'amenuise progressivement. Enfin, dans la couche de sortie du réseau, le neurone dont l'activité est maximale bloque tous les autres.

Ce modèle des couches, légèrement modifié, a été repris pour la construction des *norns*. Les couches se nomment ici des lobes de cerveau (les rectangles de la figure). Tous les neurones d'un lobe sont semblables, mais leurs caractéristiques et la structure de leurs liaisons sont très différentes selon les lobes. Le principe du blocage par le neurone le plus actif oblige les créatures à ne s'intéresser qu'à un seul objet à la fois et à faire seulement ce dont elles ont le plus envie parmi les nombreuses choses qu'elles voudraient parfois faire.

Le cerveau des *norns* leur permet surtout d'apprendre grâce à leurs expériences. Ainsi les neurones du lobe sensoriel se spécialisent dans la détection de combinaisons d'événements qui se produisent souvent. Le lobe de compréhension, qui contient la majorité des neurones, combine ceux-ci en «notions». Ici sont stockées les expériences que la créature a déjà vécues, ainsi que la situation et ses propres réactions : si un *norn* s'est brûlé à un moment où il voyait le ballon rebondir et où il s'intéressait à un four, son cerveau stocke une règle empirique du type : «si le ballon rebondit et que le four est là, alors il ne faut pas toucher le four.» Une telle association s'établit



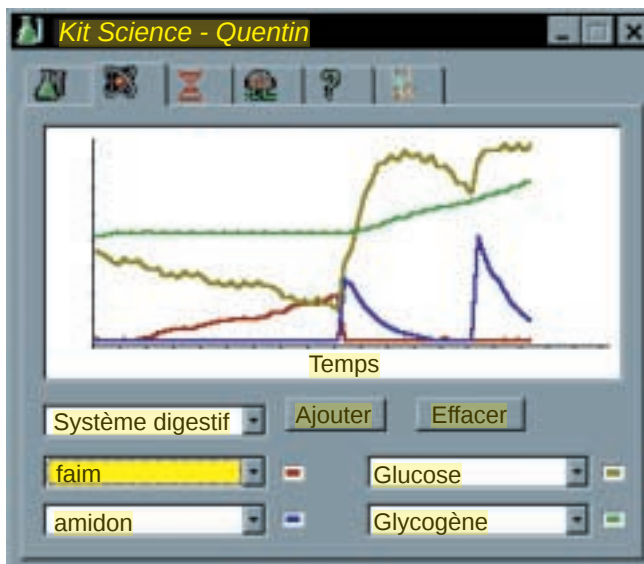
Stephen Grand/Spektrum der Wissenschaft

automatiquement ; de plus, si, ultérieurement, le *norn* voit le four sans le ballon, il reconnaîtra la situation comme semblable à la précédente, et il éloignera ses doigts du four.

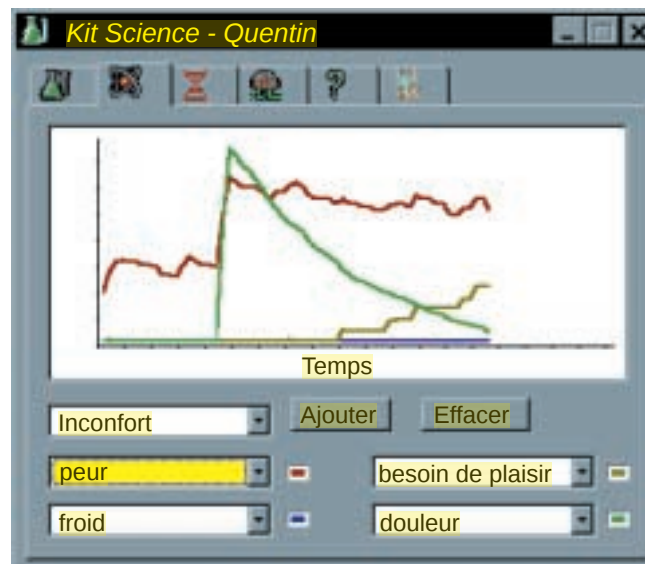
De telles règles expérimentales ne sont pas mémorisées explicitement dans le réseau de neurones, mais dans ce qu'on nomme les poids des connexions synaptiques, c'est-à-dire des facteurs d'amplification qui déterminent à partir de quelle intensité et pour quel signe l'activité d'un neurone a des conséquences sur le neurone suivant. L'apprentissage est assuré par un changement des poids synaptiques.

Ce changement est assuré par un algorithme de rétro-propagation, qui permet un transfert d'information à contre courant du flux général. Chez les créatures, ce ne sont pas des synapses qui font ce travail, mais les changements sont assurés par voie chimique : une expérience agréable, par exemple, libère une substance de récompense. Une synapse qui a participé à une décision effectivement prise par la créature reste pour quelque temps réceptive à cette substance : son poids augmente lorsque le succès se répète. De même, une substance de punition diminue le poids des synapses qui ont emporté pour la décision, lorsque la décision a été mauvaise. Pour les synapses qui avaient pris position contre la décision, les substances ont l'effet opposé. Les noms des substances qui règlent ainsi le comportement des *norns* révèlent l'origine behavioriste du codage utilisé. L'instance de récompense ou de punition n'est plus ici un expérimentateur qui donne de la viande à un chien en faisant sonner une cloche ; elle siège dans le cerveau même de la créature.

Les neurones et les synapses des créatures ne sont pas assez nombreux pour enregistrer toutes les situations imaginables. C'est pourquoi le système veille à ce qu'il y ait toujours suffisamment de neurones et de synapses disponibles. À cette fin, les liaisons peu utilisées diminuent progressivement et peuvent même disparaître.



3. Une partie du programme nommée *Kit Science* montre l'état interne des *norns*. Ici le *Kit Science* montre l'état interne du *norn* nommé Quentin. Lors d'un effort, la concentration en glucose dans le sang diminue, et la faim augmente (à gauche). Quand Quentin mange une carotte, la concentration en amidon croît soudainement et rediminue peu à peu en se transformant en glucose, qui, lui-même, se transforme – bien plus lentement – en glycogène. Simultanément la



faim diminue brusquement. La deuxième carotte, que Quentin mange peu avant la fin de l'intervalle de temps représenté, est plus grosse et élève la concentration en glucose jusqu'à son maximum. Quand Quentin touche le four brûlant (à droite), la douleur augmente rapidement, mais se calme assez vite aussi, alors que le niveau de peur, qui a aussi monté, diminue plus lentement. Après un moment, l'instinct du jeu renaît.

Millenium Interactive Ltd. : Kisten

nombres qui satisfont des systèmes d'équations. Ainsi le «glucose» est produit à partir de l'«amidon» ; il se transforme réversiblement en «glycogène» et il est indispensable à la bonne «santé» des *norns* (voir la figure 3). En outre, il libère une «substance» nommée «diminution de la faim», qui diminue la quantité de substance «faim». L'«alcool» des *norns* est une substance qui produit une démarche chancelante et qui augmente l'agressivité des mâles et la disposition à l'accouplement des femelles.

À chaque instant, ces substances se modifient conformément aux équations initialement programmées. Le changement est calqué sur ce que les chimistes nomment la loi d'action de masses, de sorte qu'il engendre des comportements plausibles.

Dans le programme, chaque substance, chaque neurone et chaque objet sont des objets, au sens de la «programmation orientée objet» : ce sont des constructions indépendantes, qui exécutent leurs propres règles de calcul lorsque le programme principal le leur permet. L'indépendance des objets facilite la construction de nouveaux objets : ils ne viennent pas gêner ceux qui existaient déjà.

LE FUTUR D'UN MONDE

Les concepteurs du jeu ont fait en sorte que les *norns* se comportent comme des animaux domestiques, vifs et sympathiques, mais la construction ascendante ne leur permet pas de prévoir

l'évolution de ces créatures. Déjà, *Albia* leur a réservé quelques surprises : ils ont vu deux *norns* se mettre à jouer spontanément au ballon, parce qu'ils avaient découvert que le jeu leur procurait du plaisir. Une autre fois, ils ont vu un *norn* mâle poursuivre une femelle qui s'enfuyait, parce qu'elle n'avait manifestement pas envie de se reproduire ; finalement le mâle a abandonné et s'est endormi, frustré. Et, un jour, un joueur qui revenait de déjeuner, après avoir laissé son ordinateur branché, a retrouvé une ribambelle d'enfants qui étaient nés en son absence : une des créatures avait découvert qu'elle pouvait se procurer des camarades de jeu en mettant les œufs dans la couveuse pour les faire éclore plus vite.

Après de nombreuses générations de *norns*, les évolutions surprenantes ne devraient pas manquer. Vraisemblablement des *norns* seront plus robustes ou plus fertiles que leurs ancêtres, en raison de mutations favorables. Comme on peut envoyer des *norns* par courrier électronique, ces *norns* évolués devraient se propager, et le distributeur de programmes devrait en voir de toutes les couleurs.

Une culture albianne se développera-t-elle ? Les *norns* finiront-ils par apprendre ce que savent leurs parents ? Des groupes de créatures se différencieront-ils au point que les individus de deux groupes différents ne pourront plus se reproduire ? Ce serait la naissance de nouvelles espèces... Ou bien l'évolution des *norns* s'éloignera-

t-elle de plus en plus de l'évolution biologique, parce que le modèle théorique a été mal choisi ?

Toutes les équations programmées peuvent muter. Aucune loi n'empêche une mutation qui conduirait à une meilleure conversion du glucose en glycogène : des créatures pourraient progressivement, si cette conversion devenait extrêmement efficace, disposer d'une réserve de glucose quasi inépuisable. De même, l'immortalité ou la production illimitée d'œufs sont envisageables.

Dans un texte devenu célèbre, le mathématicien anglais Alan Turing (1912-1954) avait imaginé un test pour savoir si une machine pouvait penser : il proposait qu'on déclare intelligente une machine qui pourrait dialoguer avec un être humain au point que ce dernier ne puisse pas deviner qu'il converse avec une machine.

De même, si les créatures artificielles présentent toutes les caractéristiques que l'on attribue habituellement aux organismes vivants, doit-on admettre qu'elles sont vivantes ?

Christoph Pöppe est éditeur à la revue Spektrum der Wissenschaft, à Heidelberg.

From Animals to Animats 3 : Proceedings of the 3rd International Conference on the Simulation of Adaptive Behavior (SAB94), sous la direction de D. Cliff, P. Husbands, J.-A. Meyer et S.W. Wilson, MIT Press, 1994.

Site Web de la Société Millenium Interactive : <http://www.cyberlife.co.uk>.