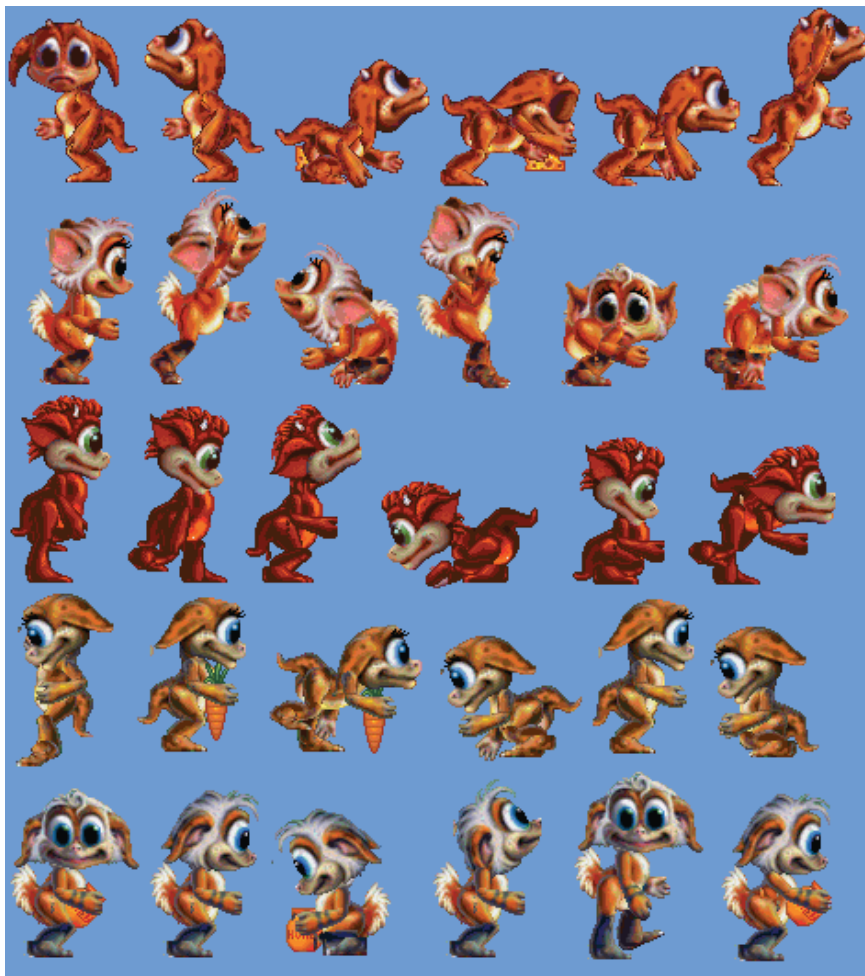




Millennium Interactive Ltd. - Kasten

2. Cinq *norns* dans six attitudes différentes. Des caractéristiques telles que la couleur du corps, l'allure ou la forme des oreilles sont déterminées génétiquement et peuvent changer avec l'âge. L'expression du visage donne une information sur l'état d'esprit des créatures.

du monde où évoluent les *norns*, tant que leur nombre n'est pas excessif (dix est une limite, en pratique). Une grande partie de ce temps est consacrée à la représentation graphique (très précise et réaliste) du nouvel état. Comment les concepteurs du jeu ont-ils obtenu ce remarquable résultat, malgré les limitations des petits ordinateurs ?

Tout d'abord, le monde représenté n'est pas aussi compliqué qu'il le paraît. C'est un monde à deux dimensions seulement, où les créatures ont peu de liberté. L'impression de variété est donnée parce qu'une même action, appliquée à des objets différents, peut signifier des choses très différentes : manger une carotte, boire un café, mettre en marche une éolienne ou un sous-marin, ou bien brancher la couveuse.

Le système de perception des créatures est extrêmement simplifié. Les informations de l'extérieur parviennent au cerveau sous une forme abstraite : un objet envoie une information sous la forme de quelques bits, lorsqu'il apparaît dans le champ visuel d'un *norn*, quand il bouge

ou bien quand il se transforme. On parle avec les créatures en tapant des mots au clavier de l'ordinateur.

Naturellement les *norns* semblent des êtres complexes, puisqu'ils peuvent même apprendre quelques mots ; toutefois, la programmation de cette capacité n'a rien d'extraordinaire : dans le cerveau des *norns*, une toute petite place sert à stocker les noms des objets et des actions. Quand un *norn* perçoit suffisamment souvent un mot en même temps qu'il tient un objet ou qu'il fait une action, le mot est mémorisé. Et si l'on n'a pas le courage d'enseigner aux *norns* à parler, on peut toujours utiliser une machine d'enseignement, au rez-de-chaussée de la maison qui contient la couveuse.

La langue primitive des *norns* leur permet de se parler de leur environnement ou d'apprendre de nouveaux mots en s'écoulant mutuellement. Ainsi un langage primitif peut se transmettre de génération en génération.

Les deux éléments centraux qui déterminent la vie d'un *norn* sont, d'une

part, son cerveau et, d'autre part, une foule de paramètres qui dirigent son métabolisme et son comportement. Le cerveau des *norns* est un réseau de 1 000 neurones artificiels (ce nombre, déterminé génétiquement, peut être modifié dans la descendance par mutation) : ces unités de calcul rudimentaires sont groupées en structures assurant des fonctions variées (voir l'encadré page 103). Malgré sa simplicité, le cerveau des *norns* trouve de l'ordre dans les données qui lui sont soumises, et il mémorise les relations découvertes ; comme il s'agit d'un réseau de neurones formels, les associations et les mémorisations sont implicitement codées. Pour chaque situation, le cerveau enregistre aussi les comportements qui seraient utiles dans les diverses situations rencontrées, par exemple assouvir un besoin urgent ou calmer une douleur.

Les représentations du cerveau des créatures s'inspirent largement du comportement, non pas parce que les auteurs étaient convaincus par cette théorie, mais parce que celle-ci postule une structure du cerveau très simple, qui permet de réduire le temps de calcul. Selon cette théorie, le comportement des individus est déterminé par leur vécu : au cours de leur vie, les individus apprennent à répéter les comportements avantageux et à éviter les réactions pénalisantes. Dans cette hypothèse, une représentation détaillée du monde, des sentiments, des buts et des stratégies pour atteindre ces buts est inutile.

Munis de leur petite capacité intellectuelle, les *norns* n'ont pas spontanément l'idée de cultiver des carottes ou de séduire l'autre sexe en offrant des présents appropriés (un tel comportement peut toutefois apparaître à l'occasion d'une association, sans interprétation explicite), mais ils ont une idée primitive de l'espace : ils savent où ils ont déjà trouvé à manger et se dirigent spontanément vers ces endroits.

EN PASSANT PAR LA CHIMIE

La digestion des *norns*, leur fatigue, leur agressivité, leurs « envies » et leurs « sensations » de douleur ou de plaisir, leurs maladies et leur mort sont déterminées par des paramètres qui sont présentés dans le jeu comme des concentrations en diverses molécules : certaines ont des noms connus, tels « glucose », « glycogène » ou « adrénaline », mais d'autres sont plus globales, telles « chaleur », « somnolence », « récompense » ou « punition ». Le nom importe peu, car les « sentiments », les « substances chimiques » ou les « températures » ne sont que des

Le cerveau des *norns*

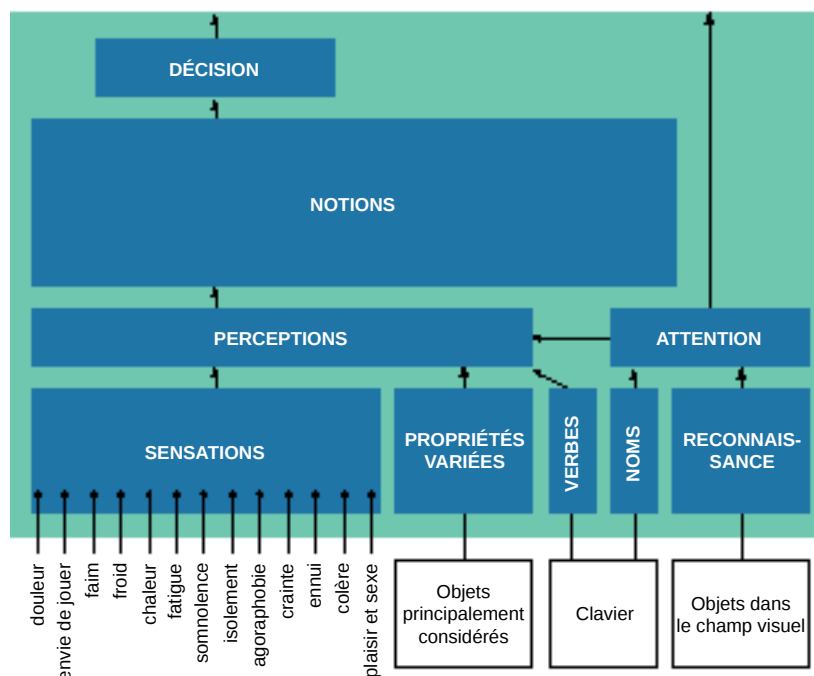
Les *norns* et les *grendels* sont capables d'apprendre, parce qu'ils ont, en guise de cerveau, un réseau de neurones artificiels, qui transforme les stimuli externes et les sensations en un état interne, lequel est ensuite converti en actions. La structure de ce «cerveau» est déterminée génétiquement, 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



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.