

Dans ce chapitre :

Introduction à la structure et à la fonction du système nerveux 421

Le neurone et son rôle 421

Traitement de l'information et prise de décisions 425

Les étapes du traitement de l'information 426

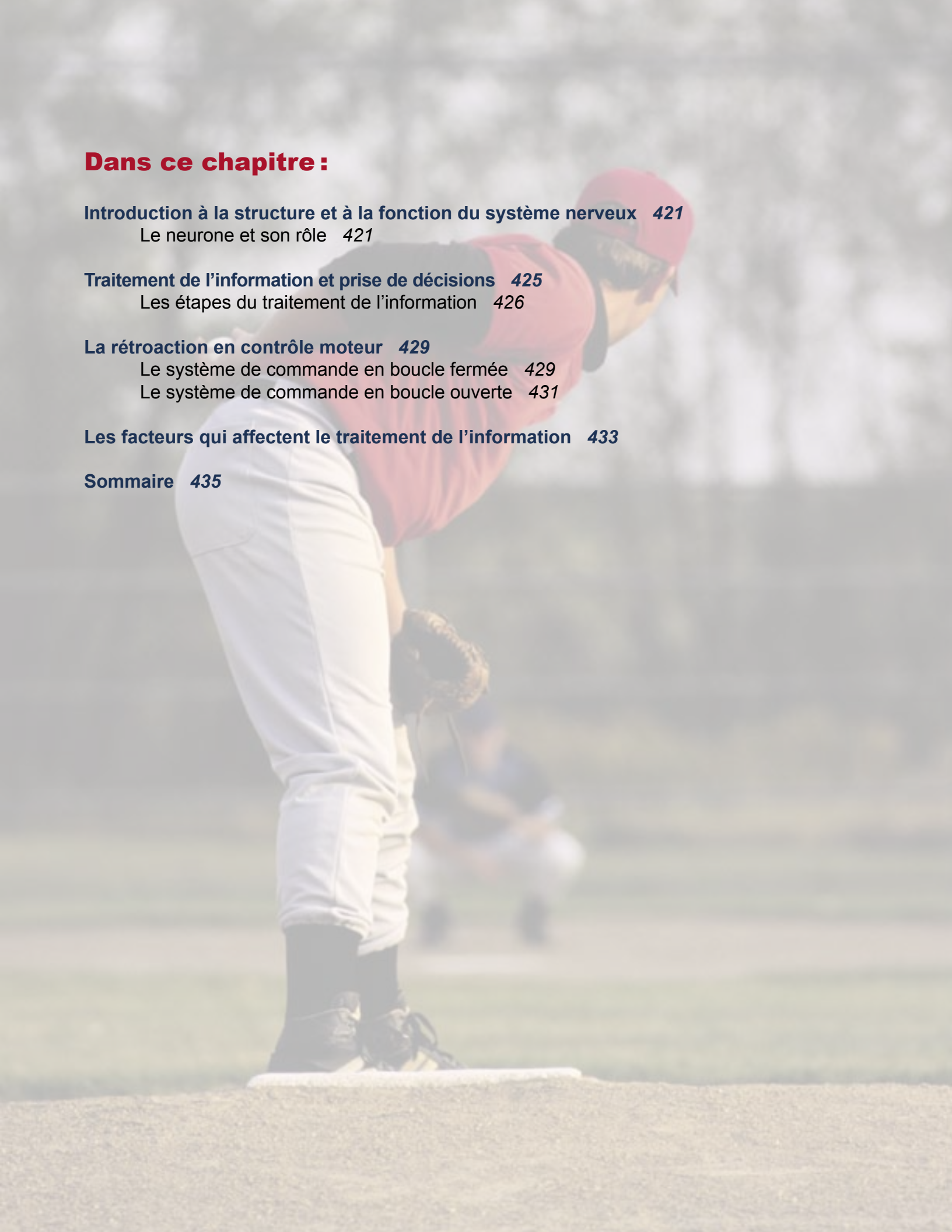
La rétroaction en contrôle moteur 429

Le système de commande en boucle fermée 429

Le système de commande en boucle ouverte 431

Les facteurs qui affectent le traitement de l'information 433

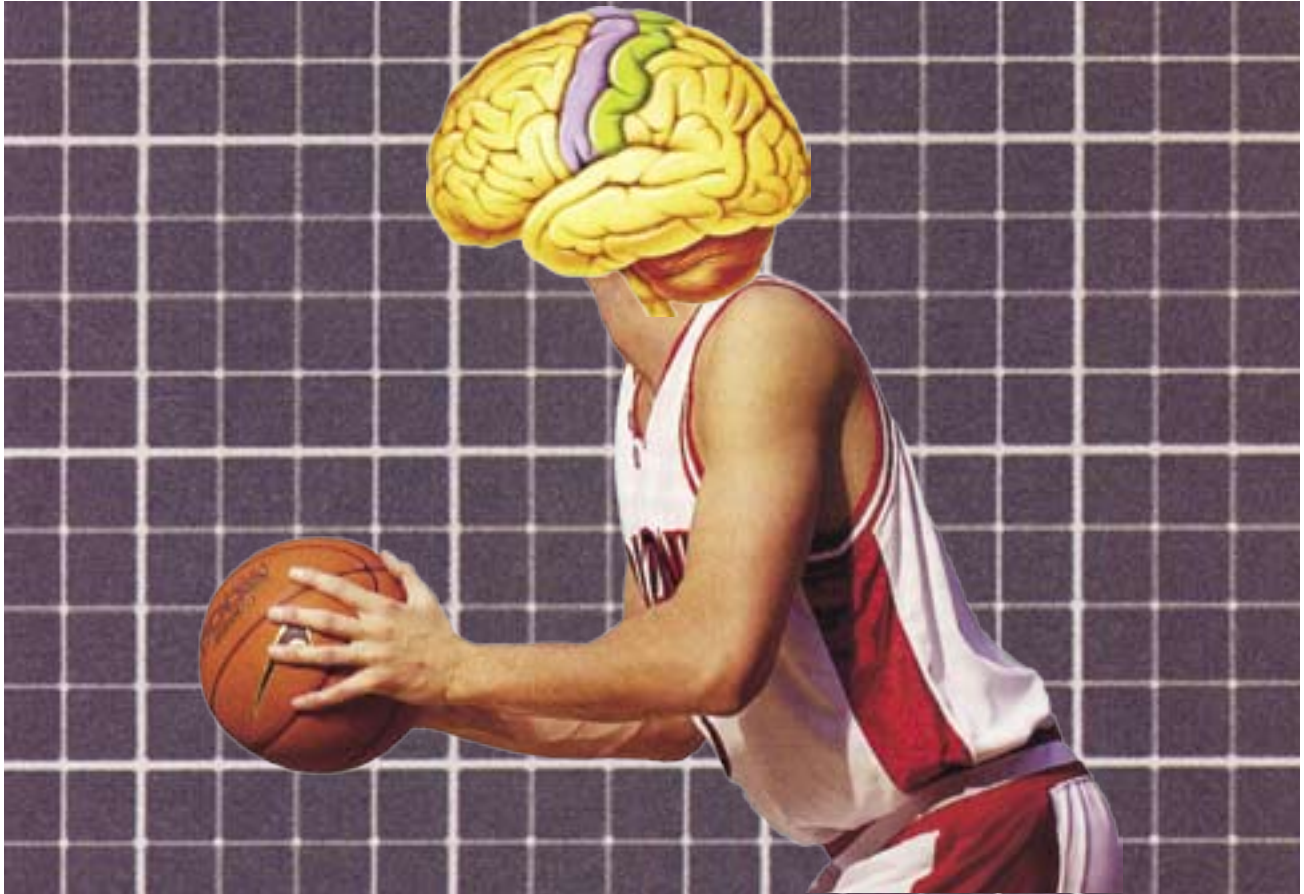
Sommaire 435





Explorons le traitement de l'information....

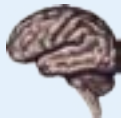
CHAPITRE 17



Le traitement de l'information en apprentissage moteur

Après avoir terminé ce chapitre, vous devriez pouvoir :

- décrire la structure et la fonction du système nerveux chez l'humain en lien avec le traitement de l'information ;
- expliquer comment l'être humain perçoit et traite l'information ;
- comprendre le rôle de la rétroaction dans le contrôle moteur ;
- expliquer les avantages et les inconvénients des systèmes de commande en boucle ouverte ou fermée dans le contrôle moteur.



En voyant l'aisance avec laquelle les gens bougent et exécutent la plupart des gestes de la vie courante, il est difficile de concevoir les complexités inhérentes au mouvement chez l'être humain. À première vue, les actions de l'humain paraissent simples, voire insignifiantes, mais la complexité du réseau et des procédés qui sous-tendent la motricité est extraordinaire. Le cerveau et la moelle épinière, qui forment le **système nerveux central (SNC)**, agissent comme centre de contrôle en ce qui a trait aux habiletés motrices importantes et de longue portée alors que les cellules et les fibres nerveuses qu'on retrouve à l'extérieur du SNC, soit le **système nerveux périphérique (SNP)**, relie le SNC au reste du corps. L'organisation et l'importante capacité des deux systèmes sont souvent trop simplifiées ; à tel point qu'il est rare de questionner la façon

dont nous sommes capables d'exécuter un éventail de mouvements avec autant de précision. Non seulement sommes-nous capables d'accomplir, sans trop y réfléchir, des gestes relativement simples tels que marcher et sauter, mais aussi des mouvements beaucoup plus complexes tels que ceux requis en gymnastique ou lors de l'exécution de pas de danse avancés. Peu importe l'activité, le réseau imposant de neurones qui s'envoient des messages de l'un à l'autre et d'une partie du corps à l'autre est en grande partie responsable de notre capacité de percevoir, de répondre et de réagir au monde qui nous entoure (figure 17.1).

Dans ce monde actuel de technologie avancée, bien des gens s'émerveillent devant le potentiel considérable des ordinateurs. De fait, les ordinateurs évoluent à un tel rythme qu'ils deviennent souvent obsolètes quelques années ou même quelques

Match nul !

Les ordinateurs ont remporté de nombreuses victoires lors de parties d'échecs. En effet, au début des années '90, seuls le champion du monde aux échecs et quelques autres étaient capables de battre les meilleurs programmes d'ordinateur tels que DEEP THOUGHT. Ces programmes étaient capables d'examiner jusqu'à 450,000 positions par seconde. Dans la même foulée, en 1996, pour exhiber les capacités incroyables de l'ordinateur, un match s'est tenu entre Garry Kasparov (le champion du monde aux échecs) et DEEP BLUE, un super ordinateur de IBM dont la construction par une équipe de cinq a nécessité six ans, et dont le seul objet était de mettre Kasparov au défi lors de quelques parties d'échec. DEEP BLUE était capable de prendre en considération l'incroyable quantité

de 200 millions de coups en une seconde, plus que tous ses prédécesseurs. L'efficacité et la vitesse de traitement de tels super ordinateurs sont ahurissantes, mais finalement, qui a gagné ?

Eh oui ! Garry Kasparov, quatre parties contre deux. Pas mal, n'est-ce pas, pour un pauvre être humain aux capacités intellectuelles limitées ?

Lors d'un match revanche un an plus tard (en 1997) l'ordinateur est sorti victorieux, alors qu'en février 2003, le tournoi s'est terminé par un match nul. Kasparov a finalement reconnu que, en effet, les ordinateurs commencent à montrer des « signes d'intelligence ».



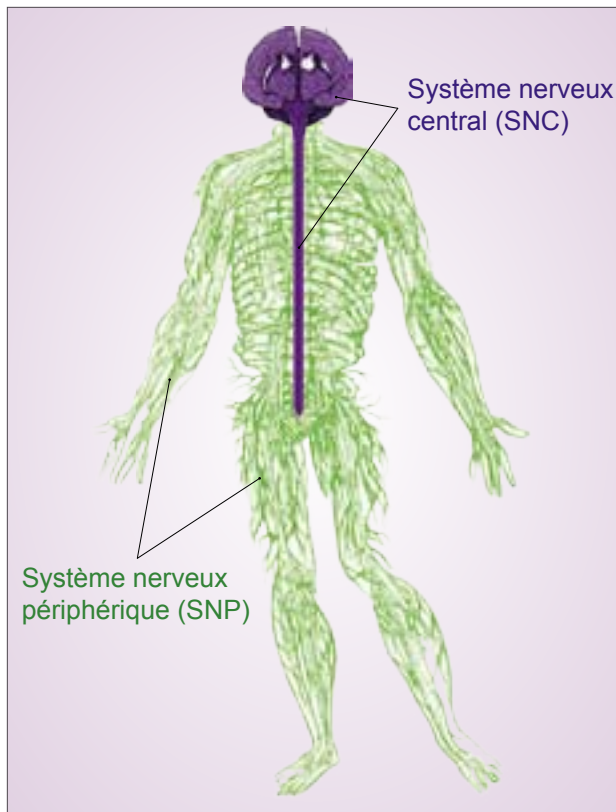
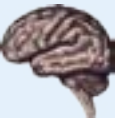


Figure 17.1 Le système nerveux central et le système nerveux périphérique.

mois après leur création. Ainsi, le cerveau humain est souvent comparé à un ordinateur avec son immense capacité, sa vitesse foudroyante et sa grande précision, et nombreux sont ceux qui, à bien des égards, considèrent l'ordinateur supérieur au système nerveux de l'être humain.

Bien que les ordinateurs modernes soient capables de réaliser des tâches logiques (telles que résoudre des équations mathématiques complexes) dans une fraction du temps qui serait nécessaire à la plupart des gens, il ne faut pas oublier que c'est l'intelligence supérieure de l'être humain qui a permis la création de cette formidable technologie. Le fait qu'un individu puisse revendiquer une victoire sur une machine pourvue d'une telle vitesse et d'une telle capacité met en évidence les capacités extraordinaires du cerveau humain (voir l'encadré *Match nul!*). Alors, la prochaine fois que vous naviguerez sur l'autoroute de l'information, souvenez-vous de ses origines.

En ce qui concerne le maintien du contrôle, les nombreuses composantes du corps humain et

de son système nerveux font œuvre de cohésion en s'envoyant mutuellement des messages. Quels sont les mécanismes qui assurent la circulation de ces messages? Comment l'humain traite-t-il l'information? Quels sont les effets de l'attention et de la mémoire sur le traitement de l'information et la performance chez l'homme? Les réponses à ces questions, et à d'autres à venir, devraient faire ressortir le caractère exceptionnel du corps humain, ses capacités, et ses nombreuses aptitudes à accomplir un nombre presque illimité d'habiletés motrices.

Introduction à la structure et à la fonction du système nerveux

Comment se fait-il qu'un champion aux échecs soit capable de prévoir plusieurs déplacements ou que le joueur de tennis soit capable de planifier plusieurs coups au cours d'un échange? Quels sont les procédés qui sous-tendent la capacité d'un individu à percevoir, à répondre et à exécuter certains mouvements et actions? La réponse renvoie au cerveau humain. Toutefois, l'activité nerveuse n'est pas exclusivement confinée au cerveau. En conjonction avec la moelle épinière et les cellules nerveuses, l'être humain dispose d'un système complexe (sous forme d'un réseau aux nombreuses ramifications) pour intégrer et gérer l'ensemble des activités corporelles. La façon dont le système nerveux réussit un tel exploit fait l'objet de l'exposé qui suit.

Le neurone et son rôle

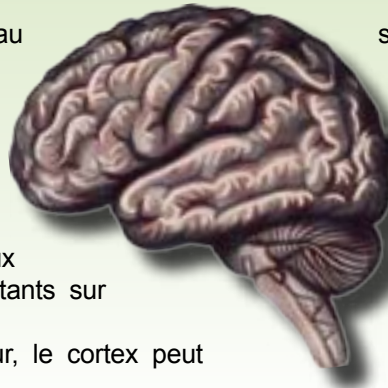
Les types de neurones

Les **neurones** (cellules nerveuses) sont les éléments structurels et fonctionnels fondamentaux du système nerveux qui permettent à l'information de circuler à travers le corps vers de nombreuses destinations. Il existe trois catégories générales de neurones qui véhiculent l'information neurale entre le cerveau, la moelle épinière et les muscles. Les **neurones afférents** transportent les signaux *vers* le cerveau ou la moelle épinière; on les appelle également

Un géant quelle que soit l'échelle

L'apparence extérieure du cerveau humain cache sa véritable complexité. Approximativement 15 milliards de neurones sont concentrés à l'intérieur des 1,400 cm³ du cerveau. La plus grande quantité, soit 10 milliards (ce qui représente plus de deux fois et demie le nombre d'habitants sur terre), est située dans le cortex.

Avec ses 3 mm d'épaisseur, le cortex peut



sembler de taille insignifiante, mais si tous ses nombreux plis et crevasses étaient étalés, il serait à peu près de la même grandeur qu'une page de journal et frétilerait de neurones. Un autre fait renversant c'est que toutes les fibres nerveuses s'enchaînent pour former un réseau quatre fois plus grand que la distance entre la terre et la lune. C'est ce qu'on appelle de l'économie d'espace !

des **neurones sensoriels**. Les **neurones efférents**, ou **motoneurones**, transportent les signaux *en provenance* du cerveau ou de la moelle épinière (figure 17.2). Une troisième catégorie de neurones, les **interneurones**, naissent ou se terminent dans le cerveau ou dans la moelle épinière.

Chaque neurone est composé de plusieurs parties et chacune d'entre elles a une fonction particulière. Les **dendrites** partent du **corps cellulaire** (qui contient le noyau de la cellule) sous forme de ramifications fibreuses et servent de centres de stimuli en recevant des messages. L'**axone** est un prolongement unique du corps de la cellule. Son rôle consiste à transmettre et à transporter des

messages à ses **terminaisons**. Ils se comptent par milliers, aux côtés des dendrites d'autres neurones (figure 17.3).

Certains axones sont également entourés d'une membrane adipeuse, appelée **gaine de myéline**. Celle-ci est interrompue par des étranglements appelés **noeuds de Ranvier**. Cette structure spécialisée de certains neurones, tels les motoneurones qui innervent les fibres musculaires, présente un avantage puisque les messages neurax circulent beaucoup plus rapidement lorsque l'influx nerveux saute d'un nœud à l'autre (figure 17.3). La myéline agit en tant qu'isolant, tel le caoutchouc qui entoure un fil électrique, afin de prévenir la perte

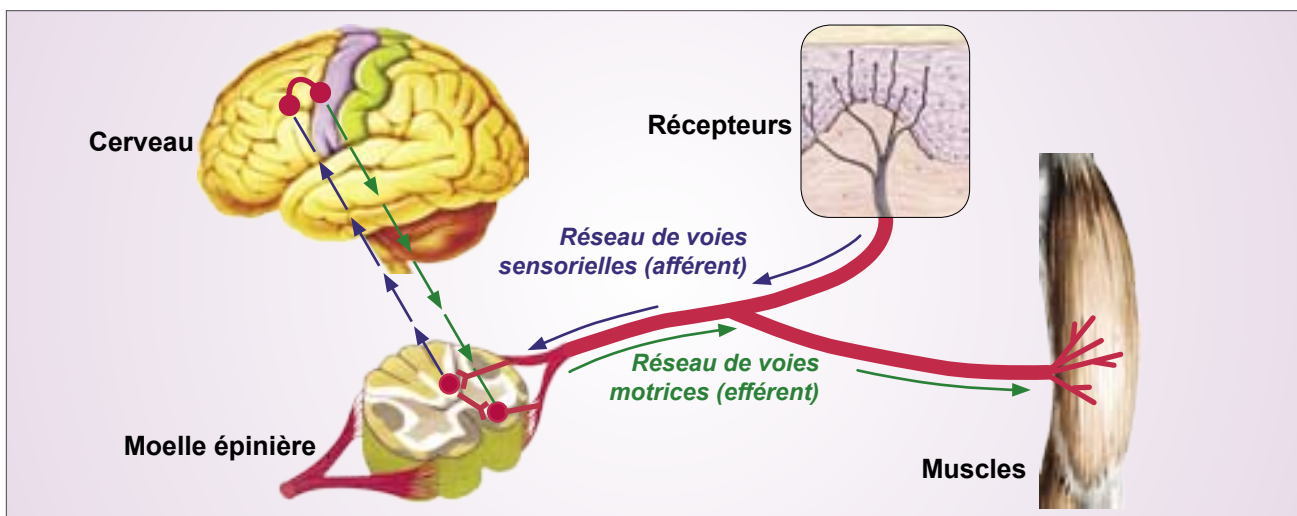
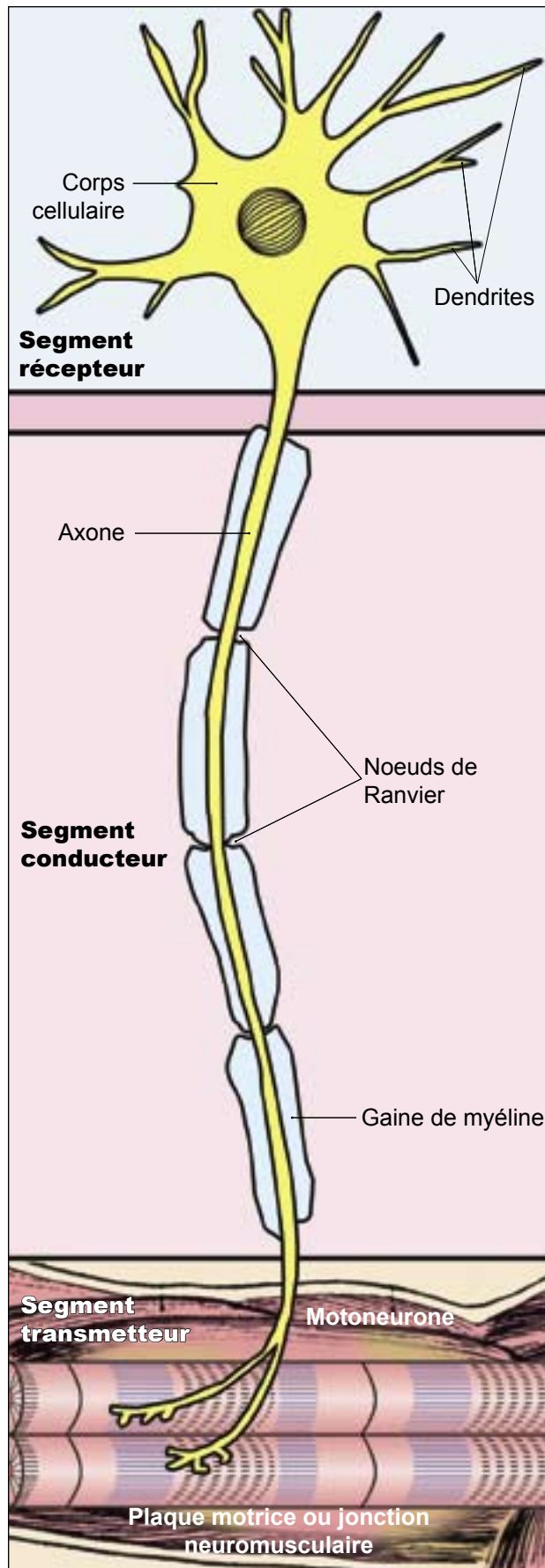
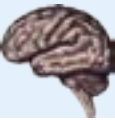


Figure 17.2 Les récepteurs guident le stimulus à travers un réseau de voies sensorielles (afférent) jusqu'à une région sensorielle spécifique du cortex. Les décisions sont envoyées aux muscles et aux articulations, par le biais d'un réseau de voies motrices (efférent), pour être exécutées.



de courant. Ce système rapide et efficace permet au corps de réagir rapidement lorsque la situation l'exige. Que ce soit pour éviter d'être plaqué au football, pour réagir à un smash au volley-ball ou pour anticiper le prochain jeu lors d'une partie de hockey, les mécanismes centraux qui impliquent les neurones sont essentiellement les mêmes.

Les fonctions du neurone

La plupart des neurones contiennent trois régions fonctionnelles (les **segments récepteurs, conducteurs et transmetteurs**), qui sont indépendamment responsables d'une tâche très spécifique dans le traitement de l'information (figure 17.3).

Le segment récepteur. Ce segment est continuellement bombardé d'excitations synaptiques qui émanent de nombreux autres neurones du site récepteur. Ces stimuli sont traités puis acheminés vers la région conductrice du neurone, à savoir l'axone.

Le segment conducteur. L'axone sert de segment conducteur du neurone. C'est le spécialiste de la conduction d'information neurale sous forme d'influx nerveux.

Le segment transmetteur. Les terminaisons axonales incitent la stimulation de l'influx nerveux à libérer des neurotransmetteurs chimiques aux sites synaptiques. Ces agents chimiques assurent une réception efficace de l'information par un autre neurone ou par une cellule musculaire.

L'influx nerveux

Notre système nerveux peut être comparé à un réseau ferroviaire et notre cerveau à une cabine de signaux. Toutefois, le long des voies sensorielles, c'est la circulation qui a droit de priorité. Les influx nerveux peuvent être comparés à des trains qui transportent l'information nécessaire à la réalisation de toutes nos activités et actions ; ce qui, par exemple, inclut la lecture des mots de cette phrase. Ils constituent le

Figure 17.3 L'organisation fonctionnelle d'un neurone type.

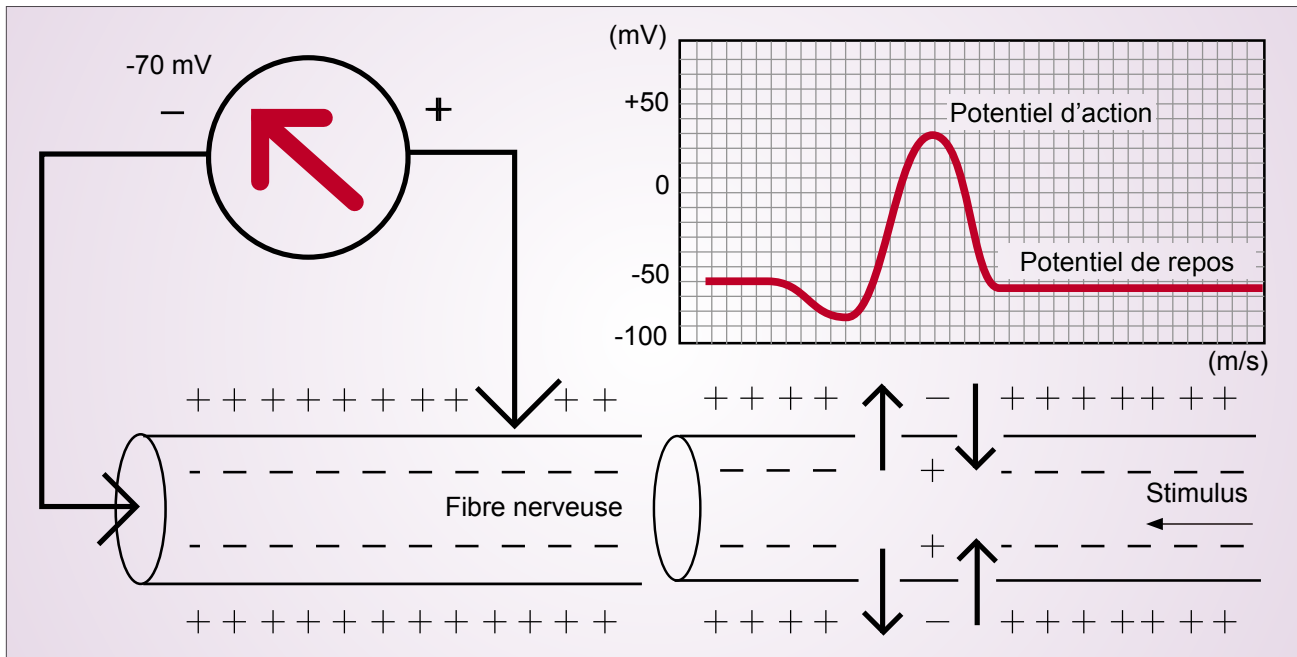
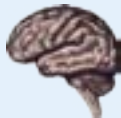


Figure 17.4 Le potentiel d'action d'un neurone.

langage du système nerveux, relayant constamment l'information à la musculature et aux cellules sensorielles appropriées. Comment ces messages trouvent-ils leur chemin le long des axones, d'un neurone à l'autre, sans dérailler ?

Le secret réside dans la distribution des ions (des particules chargées, p. ex. le sodium et le potassium) situés des deux côtés de la membrane cellulaire de chaque neurone. L'intérieur des neurones tend à être négatif par rapport à l'extérieur, alors que l'extérieur tend à être positif par rapport à l'intérieur – ce qui crée un déséquilibre de charges, ou une différence de potentiel électrique à travers la membrane cellulaire, appelé **potentiel de membrane**. Cette notion peut être comparée à la borne positive (cellule extérieure) et à la borne négative (cellule intérieure) d'une pile électrique.

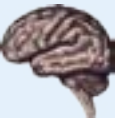
Ce qui précède reflète le potentiel de repos du neurone ou son état de **polarisation** à environ -70 millivolts (mV). Lorsqu'un stimulus atteint la fibre nerveuse, des ions positifs se précipitent vers une région spécifique de la membrane dont ils sont ensuite rapidement évacués pour ramener le neurone à son état de repos. C'est ce qu'on appelle un **potentiel d'action**, ou un état de **dépolarisation**,

qui atteint son sommet à environ 40 mV. Sous forme d'effet domino, le même procédé est répété dans des zones adjacentes de la membrane neuronale jusqu'à ce que le potentiel d'action atteigne l'extrémité de la membrane cellulaire (figure 17.4).

La synapse et la transmission synaptique

Chaque axone se ramifie en terminaisons et forme à ses extrémités une jonction avec un autre neurone. Cette jonction s'appelle une **synapse**. Les synapses sont petites – quelques milliards pourraient loger dans un dé à coudre – cependant, leur petite taille ne rend aucunement compte de l'importance de leur rôle. Le passage d'un influx nerveux au travers de cette jonction s'appelle la **transmission synaptique**. Bien que plusieurs étapes de la transmission synaptique aient été identifiées, il reste encore beaucoup à découvrir sur ses mécanismes précis.

La loi du « tout ou rien ». Une transmission synaptique entraînera un potentiel d'action dans la cellule postsynaptique, en autant que sa force soit au-delà d'un seuil minimum. Cette caractéristique s'appelle la **loi du « tout ou rien »**. Comme l'intensité



du potentiel d'action demeure constante tout au long de la fibre nerveuse, il s'ensuit qu'un stimulus plus intense n'engendrera pas un potentiel d'action plus élevé.

On peut expliquer ce phénomène en le comparant au tir d'un fusil. Pour exécuter un tir avec une arme à feu, il faut exercer un degré minimal de pression sur la détente. Lorsque cette pression atteint ou excède le point critique, il y aura toujours décharge de l'arme. Par ailleurs, peu importe le degré de pression excédentaire exercé, la force du tir sera la même.

Cette loi se traduit de la façon suivante : soit qu'un neurone déclenche un potentiel d'action à sa pleine force, soit qu'il ne déclenche rien du tout. Toutefois, même si un stimulus plus intense ne génère pas un potentiel d'action plus élevé, il aura pour effet de le déclencher plus rapidement. Il en découle que la vitesse de déclenchement d'un neurone constitue un indice de la puissance du stimulus.

Par exemple, des stimuli intenses, qui pourraient résulter de déplacements segmentaires rapides et puissants (p. ex. : un élan au golf, un botté au soccer, ou une passe au football), de flexions profondes et d'étirements qui sollicitent les articulations, déclenchent simultanément de nombreuses impulsions. Des stimuli plus légers, tels que ceux qui résultent de mouvements d'étirement lents, en déclenchent moins.

De même qu'on ne peut tirer un deuxième coup de fusil tant que le premier coup n'est pas exécuté, la vitesse de déclenchement des potentiels d'action a aussi une limite. En d'autres termes, il existe une **période réfractaire absolue** (d'environ une milliseconde) – une période pendant laquelle un deuxième potentiel d'action n'est pas possible. Après cette période, les neurones entrent dans ce qu'on appelle une **période réfractaire relative** de plusieurs millisecondes, pendant laquelle un neurone ne peut être déclenché que par une transmission synaptique très forte (c'est-à-dire à un niveau seuil élevé). Bien que cette légère limite existe, la vitesse demeure incroyablement rapide, permettant à un frappeur, par exemple, de s'élaner et de frapper une balle courbe qui semblait se diriger à l'extérieur de la zone des prises mais qui est revenue au-dessus du marbre.

Les transmissions synaptiques ne sont pas toutes

de force équivalente et n'ont pas toutes les mêmes effets. En fait, elles diffèrent quant aux intermédiaires chimiques situés à la jonction synaptique et quant à leur rôle général dans cette synapse. Certains transmetteurs, tels que l'**acétylcholine (Ach)**, ont un fort effet excitateur (habituellement sur les muscles) et il en résulte une réaction rapide. D'autres réagissent plus lentement, alors que certains ont un effet inhibiteur. Selon l'emplacement et la fonction, il existe une profusion de transmetteurs qui assurent un contrôle précis sur le système.

Cet exposé succinct n'a que frôlé la surface du réseau complexe que constitue le système nerveux. Le but de ce bref aperçu était de vous sensibiliser aux processus complexes qui contrôlent tous nos mouvements et guident nos perceptions. Sans eux, nous ne pourrions tourner les pages de ce livre ou encore lire les mots qui y sont écrits.

Traitement de l'information et prise de décisions

Le gardien de but s'éloigne de son filet et se prépare pour l'échappée. Voyant que le joueur adverse approche, le gardien de but recule lentement vers son filet et est attentif au moindre mouvement de son adversaire. Le gardien de but sait que ce joueur favorise son tir du revers et il se prépare en conséquence. L'attaquant esquisse un mouvement de revers, l'interrompt, ramène la rondelle vers l'arrière et exécute un puissant tir du poignet qui atteint la cible (le coin du filet). Qu'est-ce qui a traversé l'esprit du gardien de but ? Comment a-t-il traité l'information utilisée pour prendre la décision de se déplacer dans un sens particulier ? Dans la même foulée, comment le frappeur peut-il composer avec des tirs dont la vitesse et la trajectoire sont variables ? Qu'est-ce qui traverse l'esprit de la joueuse de tennis qui attend un service puissant de son adversaire ? La capacité à pressentir et à réagir avec rapidité et précision à de l'information environnementale aussi dynamique est une composante fondamentale de la réussite en matière de performance.

On pense souvent que l'être humain et