

L'immunité innée et la réaction inflammatoire

Lue Relue Apprise

34

L'entrée de micro-organismes dans le corps déclenche une réaction d'inflammation, une réponse universelle et rapide de l'immunité innée.

1 Une première réponse face à l'agression

A Une réponse de l'immunité innée

L'organisme peut subir des agressions externes, de nature microbienne ou physique. Des bactéries qui se multiplient ou libèrent des toxines, des virus qui pénètrent dans les cellules, le rayonnement solaire qui détruit les cellules de l'épiderme sont autant d'exemples courants.

La réaction inflammatoire est une première réponse de défense à ces agressions. Elle est innée, immédiate et non spécifique à l'agent agresseur. Elle appartient à l'immunité innée qui s'oppose à l'immunité adaptative.

Lexique

**Immunité innée** : système de défense rapide, présent dès la naissance et ne nécessitant pas d'apprentissage.

B Les manifestations de la réaction inflammatoire

- La réaction inflammatoire se caractérise par un ensemble de signes : **rougeur, chaleur, œdème (gonflement) et douleur**.
- Rougeur, chaleur et œdème s'expliquent par un **afflux de sang** dans les tissus de la zone d'inflammation. La douleur est due à la présence de substances excitant les **terminaisons nerveuses spécifiques de la douleur**.

2 Le déroulement de la réaction inflammatoire

La réaction d'inflammation se divise en deux phases successives : la phase d'initiation et la phase d'amplification.

A La phase d'initiation

La pénétration des bactéries ou une lésion tissulaire déclenchent la production de signaux de danger détectés par des **cellules sentinelles** comme les cellules dendritiques ou les **mastocytes**.

Lexique

**Cellules sentinelles** : cellules immunitaires qui résident en permanence dans les tissus, même lorsqu'ils ne sont pas lésés ou infectés.

- Les cellules sentinelles possèdent sur leur membrane des **récepteurs non spécifiques, les PRR**, qui peuvent reconnaître et se fixer à des molécules situées à la surface des bactéries.
- Elles **secrètent alors des facteurs chimiques, l'histamine ou le TNF**, qui déclenchent la réaction d'inflammation proprement dite. L'histamine provoque la dilatation des capillaires sanguins, d'où la rougeur et la chaleur observées dans la zone d'inflammation. Le TNF favorise la sortie des cellules immunitaires du compartiment sanguin.

L'immunité innée et la réaction inflammatoire

- Les **PRR ne sont pas spécifiques d'un agent pathogène**. Ces molécules ont donc la possibilité de reconnaître la plupart d'entre eux. **L'immunité innée est non spécifique**.
- On retrouve des PRR identiques chez des êtres vivants variés, plantes et insectes par exemple. **Les mécanismes de reconnaissance non spécifique ont donc été conservés au cours de l'évolution**.

B La phase d'amplification

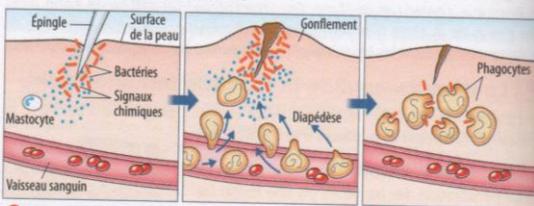
L'histamine, avec d'autres facteurs chimiques, attire des cellules immunitaires, les **granulocytes et les macrophages circulants, tous des leucocytes**.

- Ces cellules passent à travers la paroi distendue des capillaires. C'est la **diapédèse**. Du plasma s'échappe aussi dans la région d'inflammation.
- D'autres facteurs, les **cytokines**, stimulent la prolifération des cellules inflammatoires déjà sur place qui, en plus grand nombre, peuvent s'attaquer efficacement aux micro-organismes. Il y a **amplification de la réponse**.

Lexique

**Leucocytes** : cellules sanguines avec noyau, appelées aussi globules blancs.  
**Granulocyte** : leucocyte à noyau plurilobé (moelle osseuse).  
**Macrophage** : leucocyte résidant dans les tissus et réalisant la phagocytose.

Doc. La réaction inflammatoire



- Les **granulocytes et les macrophages** reconnaissent les bactéries et les englobent pour les absorber. C'est la **phagocytose** (voir Fiche 35).
- Les débris cellulaires issus de la dégradation des micro-organismes ainsi que les cellules immunitaires s'accumulent dans un liquide caractéristique, le **pus**, qui lui aussi sera éliminé par la phagocytose.

L'importance de la réaction inflammatoire

Lue Relue Apprise

35

La réaction inflammatoire initie l'élimination des pathogènes et prépare aussi la réponse adaptative. Elle est modulée, ce qui évite son emballement.

1 L'élimination des micro-organismes

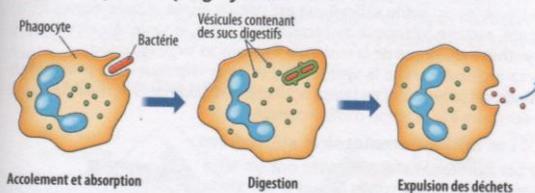
**Granulocytes et macrophages** notamment éliminent par ingestion des micro-organismes ou des cellules reconnus comme indésirables. C'est la **phagocytose**, qui se déroule en plusieurs étapes :

Lexique

**Phagocytose** : absorption et digestion de particules étrangères ou débris d'organisme par des cellules spécialisées.

- adhésion** de la cellule phagocytaire au pathogène (bactéries...) et reconnaissance, grâce à des récepteurs, de marqueurs non spécifiques présents à la surface de tous les pathogènes ;
- expansion de la membrane plasmique** du phagocyte entourant la bactérie et formation d'une **vésicule** ;
- fusion de cette vésicule avec d'autres remplies d'**enzymes digestives** ;
- digestion du phagocyte ;
- rejet à l'extérieur de la cellule des déchets digestifs.

Doc. Les étapes de la phagocytose



2 La préparation à la réponse adaptative

La réaction inflammatoire n'est pas toujours suffisante pour éliminer totalement le pathogène. Elle est complétée par la **réponse immunitaire adaptative**, pour laquelle interviennent d'autres leucocytes, les **lymphocytes B et T**.

- Des cellules phagocytaires, comme les macrophages ou les cellules dendritiques, **ne digèrent que partiellement les pathogènes**. Des

L'importance de la réaction inflammatoire

fragments issus de leurs **antigènes** de surface sont conservés et exposés à la surface de la cellule phagocytaire, associés à des molécules du **Complexe Majeur d'Histocompatibilité (CMH)**.

- Le phagocyte devient alors une **cellule présentatrice de l'antigène (CPA)**.
- **L'association CMH-antigène** exposée à la surface des phagocytes est **spécifique**. Elle possède une séquence propre qui lui donne une **forme spécifique dans l'espace**. Elle permettra le déclenchement de la réponse immunitaire adaptative.

Lexique

**Antigène** : molécule qui déclenche une réaction immunitaire spécifique.  
**Complexe Majeur d'Histocompatibilité** : protéines membranaires marqueurs de l'identité des cellules.  
**Cellule présentatrice de l'antigène** : cellule exposant sur sa face externe un fragment d'antigène associé à une molécule du CMH.

3 Moduler la réaction inflammatoire

A Les anti-inflammatoires non-stéroïdiens

- La réaction inflammatoire est à l'origine de **douleurs** et de **fièvre**, normalement de courte durée mais qui peuvent persister, devenir chroniques et produire des lésions dans les tissus.
- Des médicaments comme **l'aspirine** permettent le contrôle de la réaction inflammatoire et en **limitent les effets**.
- L'aspirine ou **acide salicylique** est une molécule utilisée depuis l'Antiquité, extraite à l'époque de l'écorce d'un arbre, le saule. Au XIX<sup>e</sup> siècle, la **synthèse chimique** de la molécule a permis sa large diffusion.
- La molécule inhibe la synthèse de signaux chimiques, les **prostaglandines**, qui provoquent en temps normal la dilatation des vaisseaux sanguins nécessaire à la réaction d'inflammation.

B Les anti-inflammatoires stéroïdiens

- Les **hormones stéroïdiennes** ont un effet anti-inflammatoire connu depuis le XIX<sup>e</sup> siècle et aujourd'hui bien compris. Des stéroïdes sont actuellement synthétisés chimiquement pour modérer la réaction inflammatoire.
- Comme l'aspirine, les stéroïdes inhibent la synthèse des prostaglandines, mais également celle des cytokines activatrices de la réponse.

Lexique

**Hormones stéroïdiennes** : substances fabriquées par l'organisme à partir du cholestérol.

Les anticorps, des effecteurs de la réponse adaptative

36

Lue Relue Apprise

La réponse immunitaire adaptative neutralise les pathogènes grâce à deux types d'agents effecteurs, dont les anticorps.

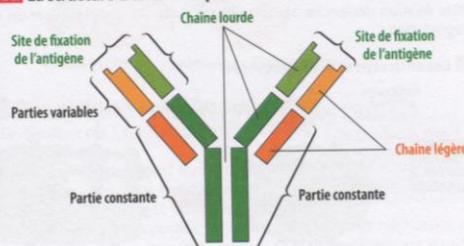
1 Les anticorps, des molécules effectrices circulantes

- L'infection par des micro-organismes provoque une élévation du taux d'**immunoglobulines** ou **anticorps**, des protéines plasmatiques.
- Ces anticorps sont capables de neutraliser l'agent pathogène. Ce sont les effecteurs de la **réponse immunitaire à médiation humorale**, une des deux composantes de la **réponse immunitaire adaptative**.
- Un anticorps se fixe de **façon spécifique** sur un antigène, par complémentarité.
- Un anticorps est constitué de **quatre chaînes polypeptidiques**, deux chaînes lourdes (H) et deux chaînes légères (L) identiques deux à deux.
- Chacune de ces quatre chaînes présente une **partie constante**, de même séquence pour tous les anticorps, et une **partie variable**, différente d'un anticorps à l'autre. C'est au niveau de cette partie variable qu'ont lieu la reconnaissance et la fixation de l'antigène. C'est la forme dans l'espace du **site de fixation** qui explique la spécificité d'un anticorps. Un anticorps possède deux sites de fixation identiques.

Lexique

**Réponse immunitaire à médiation humorale** : réponse immunitaire adaptative dont les effecteurs sont des molécules, les anticorps.  
**Réponse immunitaire adaptative** : réponse immunitaire spécifiquement dirigée contre un antigène.

Doc. La structure d'un anticorps



Les lymphocytes T cytotoxiques

37

Lue Relue Apprise

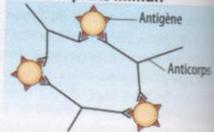
Les anticorps, des effecteurs de la réponse adaptative

2 Les modes d'action des anticorps

A La neutralisation des agents pathogènes

- Les anticorps ne détruisent pas le porteur d'antigène mais le **neutralisent**, c'est-à-dire l'empêchent d'agir.
- Les anticorps se fixent sur les **antigènes** portés par des virus et les **masquent**, ce qui empêche le contact et la pénétration dans les cellules-cibles. L'infection de nouvelles cellules est ainsi rendue impossible. Les anticorps se fixent aussi sur les antigènes libres, comme les toxines libérées par des bactéries.
- L'association antigène-anticorps forme un **complexe immun** qui sera éliminé.
- La formation d'un complexe immun n'est rendue possible que grâce à l'existence de deux sites de fixation par anticorps, ce qui permet l'association de plusieurs anticorps et de plusieurs antigènes.

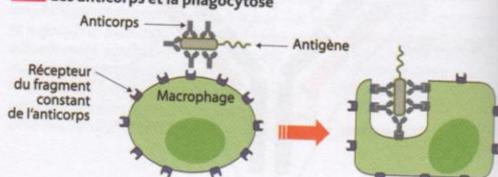
Doc. La formation d'un complexe immun



B Une préparation à la phagocytose

- La fixation de l'antigène occupe une seule extrémité de l'anticorps. L'autre **extrémité, constante**, reste disponible. Or, il existe à la surface de cellules du système immunitaire comme les macrophages ou les granulocytes, des **récepteurs complémentaires** de cette extrémité.
- Ces récepteurs, non spécifiques, ne se fixent à l'anticorps que s'il est associé à un antigène et forme un complexe immun.
- Cette fixation déclenche alors la phagocytose du complexe immun et sa dégradation.

Doc. Les anticorps et la phagocytose



Parallèlement aux anticorps, les lymphocytes T cytotoxiques participent à l'élimination de l'antigène.

1 Un contrôle des populations cellulaires

- Les anticorps ne peuvent pas neutraliser les cellules cancéreuses ou infectées par un virus, dangereuses pour l'organisme. Les lymphocytes T CD8, capables de les reconnaître, assurent leur élimination. Ils participent à la **réponse à médiation cellulaire**.
- Leurs **récepteurs TCR** identifient les cellules en se fixant sur des **complexes moléculaires** situés sur la membrane plasmique.
- Constitués par l'association d'un marqueur du **Complexe Majeur d'Histocompatibilité (CMH)** et d'un fragment d'antigène du pathogène (complexes CMH-Ag), ces complexes marquent les cellules anormales.
- Les cellules reconnues par les lymphocytes T CD8 sont détruites, d'où le nom de **lymphocytes T cytotoxiques** donné à cette catégorie de **cellules effectrices**.

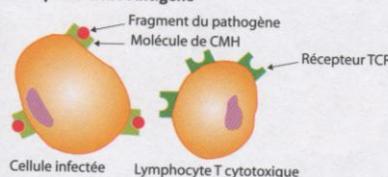
Lexique

**Réponse à médiation cellulaire** : réponse immunitaire adaptative dont les effecteurs sont des cellules, les lymphocytes T CD8 (différenciés en lymphocytes T cytotoxiques).

attention

Un lymphocyte T CD8 ne devient « T cytotoxique » qu'après la phase de différenciation (voir Fiche 38).

Doc. Le complexe CMH-Antigène



2 Des cellules spécifiques

- Un lymphocyte T cytotoxique est **spécifique d'un seul antigène**.
- Cette spécificité dépend du **récepteur TCR identique** pour un clone de lymphocyte T CD8.
- Chaque récepteur est constitué de deux chaînes peptidiques exposées sur la face externe de la membrane plasmique. L'extrémité des deux chaînes fixée dans la membrane est identique.

attention

Un lymphocyte donné ne porte qu'un seul type de récepteur TCR, mais en plusieurs exemplaires.

Les lymphocytes T cytotoxiques

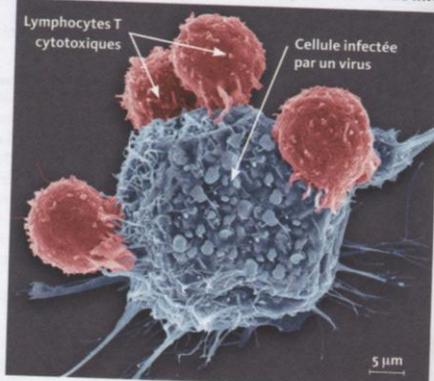
chez tous les lymphocytes T cytotoxiques contrairement à l'extrémité libre, de **séquence variable** d'un lymphocyte à l'autre.  
 ● La **forme spécifique** de l'extrémité libre la rend **complémentaire** d'un seul complexe CMH-Ag.

**3 Une lyse des cellules par contact**

- Une fois la cellule cible reconnue, le lymphocyte T cytotoxique s'y fixe par son récepteur TCR. Il sécrète alors une substance, la **perforine**, qui perce la membrane plasmique de la cellule infectée.
- De l'eau s'engouffre dans la cellule et la fait éclater. Parallèlement, le lymphocyte T cytotoxique sécrète des enzymes qui la digèrent.
- Le lymphocyte T cytotoxique **lyse** les cellules-cibles **par contact**.

**attention**  
 Contrairement aux anticorps qui circulent et opèrent à distance de leur lieu de production, la **perforine agit là où elle a été produite**.

**Doc.** La lyse, par un lymphocyte T cytotoxique, de la cellule infectée



- Les lymphocytes T cytotoxiques jouent, comme les anticorps, le rôle d'effecteurs de la réponse immunitaire adaptative, mais ils s'en distinguent par différentes caractéristiques :
  - ce sont des cellules et non pas des molécules ;
  - ils sont capables d'éliminer les cellules infectées de l'organisme.

78 Le maintien de l'intégrité de l'organisme

La mise en place de la réponse immunitaire adaptative

38

Lue Relue Apprise

La phase effectrice de la réponse immunitaire adaptative est précédée par une phase de sélection et par une phase d'amplification, nécessaires à une réponse efficace.

**1 La phase de sélection**

- Dès son entrée dans l'organisme, un pathogène est reconnu par des récepteurs présents à la surface des lymphocytes B et T spécifiques. Ces lymphocytes sont alors **sélectionnés**.
- Chaque **lymphocyte B (LB)** ne porte qu'un **seul type de récepteurs**, de même structure que les anticorps sécrétés. On les nomme aussi « **anticorps membranaires** ».
- Les lymphocytes B reconnaissent directement l'antigène, soit libre, soit présent à la surface du pathogène, virus ou bactérie.
- Les récepteurs des lymphocytes T reconnaissent l'antigène présenté par des cellules de l'organisme (cellule présentatrice de l'antigène-CPA) associé aux marqueurs cellulaires du CMH.
- Il existe **deux catégories de lymphocytes T** qui se distinguent par des marqueurs membranaires différents, les marqueurs CD4 et les marqueurs CD8.
- La **sélection des lymphocytes compétents B et T** constitue le **premier signal déclencheur** de la réponse immunitaire adaptative, ou **induction**.

**lexique**  
**Sélection** : recrutement de lymphocytes spécifiques de l'antigène.  
**Lymphocyte compétent** : lymphocyte capable de participer à une réaction immunitaire.  
**Induction** : déclenchement de la réponse immunitaire adaptative.

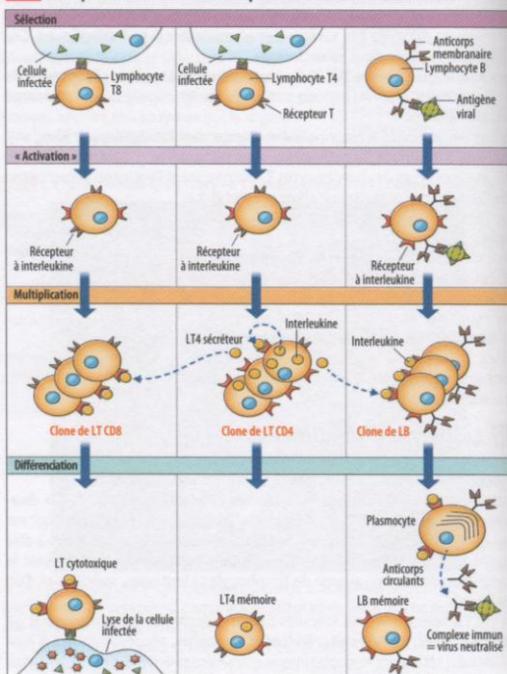
**2 La phase d'amplification**

- Les lymphocytes T CD4 sélectionnés se multiplient et se différencient en **lymphocytes T CD4 auxiliaires** sécrétant de l'**interleukine 2**.
- La **libération d'interleukine 2** par les **LT auxiliaires** constitue le **deuxième signal** de la réponse immunitaire adaptative. L'interleukine agit sur les lymphocytes B, T CD8 et T CD4 préalablement sélectionnés, c'est-à-dire ayant reconnu l'antigène. Elle **stimule leur multiplication** et permet la formation de **clones**, groupe de lymphocytes identiques, spécifiques d'un antigène.
- Les LB sélectionnés et stimulés par l'interleukine 2 se transforment en **plasmocytes**, **cellules sécrétrices d'anticorps**, reconnaissables à leur abondant réticulum endoplasmique granulaire spécialisé dans la synthèse protéique.

La mise en place de la réponse immunitaire adaptative

- Les LT CD8 se différencient quant à eux en lymphocytes T cytotoxiques capables de sécréter de la perforine.
- Ainsi, cette multiplication cellulaire suivie d'une différenciation permet de produire un grand nombre de cellules seulement en présence du pathogène. C'est un mécanisme tourné vers l'économie.

**Doc.** La réponse immunitaire adaptative à une infection virale



Le répertoire immunitaire

39

Lue Relue Apprise

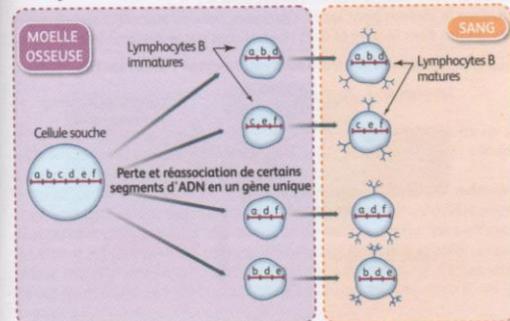
Les cellules du système immunitaire reconnaissent spécifiquement des millions d'antigènes différents grâce à la diversité de leurs récepteurs.

**1 Une production aléatoire de récepteurs**

- Les cellules de l'immunité adaptative, lymphocytes B et T, sont produites dans la **moelle osseuse**, à partir de cellules souches qui se multiplient puis se différencient.
- Ces cellules constituent des populations identiques, ou **clones**, différentes les unes des autres par les récepteurs spécifiques aux antigènes.
- Chaque individu possède un **répertoire spécifique de récepteurs** codés par son génotype. Pourtant, nous possédons entre 20 à 30 000 gènes, bien moins que les millions de récepteurs différents produits.
- Les récepteurs T et B sont codés par un système de gènes dont chacun est constitué de plusieurs fragments. **L'assemblage au hasard** de ces fragments multiplie les possibilités et aboutit à la synthèse d'une multitude de récepteurs différents.

**rappel**  
 Les récepteurs B et TCR sont des protéines, ils sont donc codés par les gènes.

**Doc.** Synthèse des récepteurs aux antigènes



- Ainsi, les cellules immunitaires fabriquent des récepteurs aux antigènes sans jamais avoir été au contact de ces derniers. L'ensemble des récepteurs d'un individu constitue son **répertoire immunitaire**.

Le répertoire immunitaire

2 Une sélection des récepteurs

A L'acquisition d'une immunocompétence

- Après leur production, les lymphocytes B et T, incapables de participer à la réponse immunitaire adaptative, doivent subir une **maturation**.
- Les **lymphocytes B** acquièrent leurs récepteurs membranaires dans la **moelle osseuse** où ils deviennent **immunocompétents**.
- Les **lymphocytes T** passent dans le **thymus**. Là, ils acquièrent leurs récepteurs TCR et deviennent **immunocompétents**.

attention

Ne pas confondre les récepteurs TCR et les marqueurs CD4 et CD8.

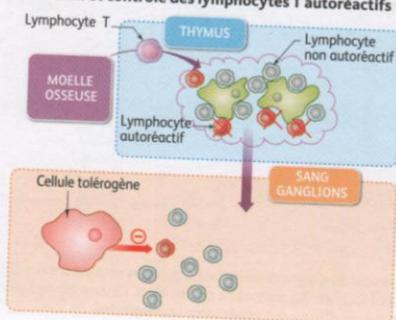
B L'élimination des cellules dirigées contre le soi

- Les récepteurs aux antigènes étant fabriqués de façon aléatoire, un certain nombre de lymphocytes T et d'anticorps membranaires sont dirigés contre les cellules de leur propre organisme (« le soi »).
- Les **maladies auto-immunes** sont la plupart du temps évitées car les cellules immunitaires dirigées contre le soi, les **cellules autoréactives**, sont éliminées ou neutralisées.
- La majeure partie des cellules autoréactives sont éliminées, dans la moelle osseuse pour les LB, dans le thymus pour les LT. Quelques cellules autoréactives circulent néanmoins dans le sang et sont neutralisées par le système immunitaire.

lexique

**Maladies auto-immunes :** maladies pour lesquelles le système immunitaire détruit les cellules de l'organisme.

Doc. Élimination et contrôle des lymphocytes T autoréactifs



82 Le maintien de l'intégrité de l'organisme

Le phénotype immunitaire

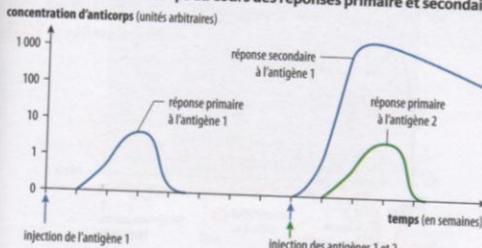
Lue Relue Apprise

Les caractéristiques du système immunitaire définissent le phénotype immunitaire, variable au cours de la vie et d'un individu à l'autre.

1 La mémoire immunitaire

- La réponse immunitaire adaptative, sécrétion d'anticorps ou production de lymphocytes T, est **plus rapide, de plus grande amplitude et de plus longue durée au cours d'un second contact** avec un même antigène. C'est la **réponse secondaire**, plus efficace que la **réponse primaire**.
- La réponse secondaire explique qu'un pathogène déjà rencontré par l'organisme ne déclenche plus la maladie. Le système immunitaire garde en **mémoire** le contact avec l'antigène.

Doc. Sécrétion d'anticorps au cours des réponses primaire et secondaire

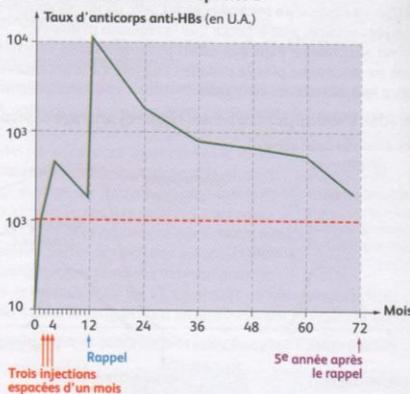


- Au cours de la réponse primaire, tous les lymphocytes produits ne se différencient pas en cellules effectrices, une partie deviennent des cellules à longue durée de vie, les **cellules mémoire**.
- Au cours de la réponse secondaire, ces **lymphocytes B et T mémoire** sont immédiatement opérationnels. Ils se multiplient et se différencient plus rapidement en cellules effectrices, ce qui rend la réaction plus efficace.
- La mise en mémoire du contact avec l'antigène explique aussi qu'une même maladie infectieuse ne se contracte pas deux fois, sauf si les antigènes du pathogène varient d'une année à l'autre, comme dans le cas de la grippe.
- Le **principe de la vaccination repose sur ce mécanisme** qui consiste à inoculer un micro-organisme rendu non pathogène ou un de ses antigènes à un individu afin qu'une réponse secondaire se produise dès le contact suivant.

Le phénotype immunitaire

- La longue durée de vie des cellules mémoire permet de ne stimuler le système immunitaire qu'après de longues années, au cours d'une injection de rappel.
- À l'antigène est associé un **adjuvant, non antigénique**, déclenchant une réaction d'inflammation qui stimule la réaction immunitaire adaptative.

Doc. Variation du taux d'anticorps spécifiques suite à une vaccination contre l'hépatite B



2 L'évolution du phénotype immunitaire

- Le répertoire immunitaire dépend du génotype et détermine le **phénotype immunitaire** de chaque individu.
- Au contact d'un antigène, l'effectif des lymphocytes sélectionnés augmente. Ainsi, le phénotype immunitaire évolue selon l'environnement.
- Chez le nouveau-né, le répertoire immunitaire est essentiellement constitué de **lymphocytes naïfs**, c'est-à-dire n'ayant jamais été au contact de l'antigène.
- Les contacts répétés avec des antigènes variés font diminuer la proportion de lymphocytes naïfs, tandis que celle de lymphocytes mémoire augmente.

lexique

**Phénotype immunitaire :** ensemble des lymphocytes T et B capables de reconnaître des antigènes différents.

84 La maturation de l'efficacité de la réponse

Le réflexe myotatique, une commande réflexe du muscle

Lue Relue Apprise

Le déroulement du réflexe myotatique nécessite l'intervention des muscles mais aussi du système nerveux.

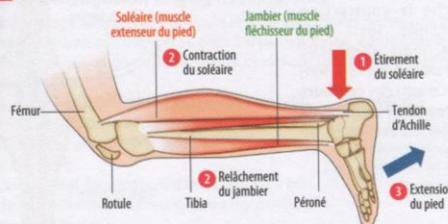
1 Une réponse réflexe à l'étirement

- Un coup sur le tendon d'Achille provoque l'extension du pied. C'est un **réflexe** achilléen, une réponse involontaire et stéréotypée (toujours la même), déclenchée par une stimulation.
- La percussion étire le tendon reliant le muscle extenseur du pied à l'os. En raison de son élasticité, le muscle étiré s'allonge légèrement puis, en réaction, se contracte : le pied se tend.
- Ce réflexe, qui tend à maintenir constante la longueur du muscle, est un **réflexe myotatique**.

lexique

**Réflexe :** réaction involontaire, stéréotypée et prévisible.  
**Réflexe myotatique :** contraction du muscle en réponse à son propre étirement.

Doc. Le réflexe achilléen



- Ce réflexe se déroule en permanence et maintient les muscles dans un état de **tension, le tonus musculaire**.

2 Les acteurs du réflexe

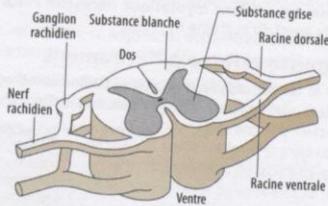
- La section des **nerfs** connectés aux muscles intervenant dans le réflexe myotatique entraîne la disparition de celui-ci. Ces nerfs sont reliés par ailleurs à la moelle épinière. Cet axe nerveux, situé à l'intérieur de la colonne vertébrale, rejoint l'encéphale par sa partie antérieure.
- En cas de lésion de la **moelle épinière** (dans la région contrôlant les muscles impliqués dans le réflexe), le réflexe myotatique disparaît aussi.
- La moelle épinière et les nerfs (éléments du système nerveux) sont donc impliqués dans le réflexe myotatique.

remarque

Attention, seule une lésion locale du nerf ou de la moelle épinière entraîne la disparition du réflexe, ce qui indique un traitement local par le système nerveux.

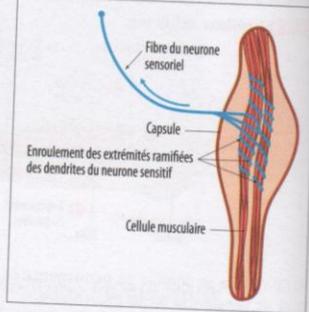
Le réflexe myotatique, une commande réflexe du muscle

Doc. Coupe transversale de moelle épinière



● La lésion des fuseaux neuromusculaires localisés à l'intérieur du muscle, empêche la contraction déclenchée lors d'un réflexe, mais n'empêche pas les mouvements volontaires. Ce sont des capteurs ou récepteurs sensoriels sensibles à l'étirement du muscle.

Doc. Un fuseau neuromusculaire



3 Réflexe et intégrité du système neuromusculaire

● La percussio du tendon, au niveau de la rotule, provoque l'extension de la jambe. C'est le réflexe rotulien, un autre exemple de réflexe myotatique.  
● Dans certains cas, le réflexe est exacerbé, dans d'autres il est atténué ou même absent, ce qui indique un dysfonctionnement. Ainsi, ce réflexe constitue un outil de diagnostic permettant de vérifier l'intégrité du système neuromusculaire.

Le circuit de neurones du réflexe myotatique

■ Lue ■ Relue ■ Apprise

La réalisation du réflexe myotatique nécessite la propagation et la transmission du message nerveux le long des neurones.

1 Un arc réflexe

A La circulation d'un message nerveux

● Entre le moment de la stimulation et celui de la contraction musculaire, l'existence d'un délai de quelques millisecondes, le **temps de latence**, s'explique par le cheminement du message nerveux.  
● La stimulation des fuseaux neuromusculaires, récepteurs sensoriels sensibles à l'étirement, déclenche la naissance d'un **message nerveux** à l'origine de la contraction d'un **organe effecteur**, le muscle. La mise en relation des différents organes, récepteurs sensoriels, centres nerveux, effecteurs constitue un **arc réflexe**.

B Une propagation le long des neurones

● Le message nerveux est véhiculé le long de cellules nerveuses ou **neurones**. Chacune est composée d'un **corps cellulaire**, contenant le noyau et les organites, et de prolongements cytoplasmiques : l'**axone** et les **dendrites** (fibres).

● Dans un neurone, le message est **recueilli par les dendrites** puis transmis au corps cellulaire. Il est ensuite **conduit par l'axone** vers une **synapse**.

● L'axone peut être entouré d'une substance isolante (la myéline) formant une gaine discontinue de couleur blanche.

C Des fibres nerveuses associées en nerfs

● Plusieurs fibres nerveuses provenant de différents neurones sont regroupées et constituent un **nerf**. Les nerfs assurent la conduction du message nerveux dans l'organisme.

● Un **nerf sensitif** contient exclusivement des fibres provenant de neurones sensitifs tandis qu'un **nerf moteur** est constitué de fibres de motoneurones.

● Toutefois, dans la majorité des cas, un même nerf comporte à la fois des fibres motrices et sensibles, comme le **nerf sciatique** qui relie le muscle extenseur du pied à la moelle épinière.

Lexique

**Synapse** : zone de contact entre deux neurones ou entre un neurone et un muscle.

Lexique

**Nerf sensitif** : nerf conduisant le message nerveux du récepteur sensoriel vers le centre nerveux.

**Nerf moteur** : nerf conduisant le message du centre nerveux vers le muscle.

16 Neurone et fibre musculaire : la communication nerveuse

Le circuit de neurones du réflexe myotatique

2 Le trajet du message nerveux

A Des messages afférents et efférents

● Une section de la racine dorsale de la moelle épinière provoque une perte de la sensibilité mais conserve la motricité. C'est l'inverse en cas de section de la racine ventrale.

● Dans la **racine dorsale** circule un **message afférent** (vers la moelle) transmis par des **neurones sensitifs** et provenant des fuseaux neuromusculaires. Un **message efférent** (sortant de la moelle) emprunte la **racine ventrale** en direction du muscle pour déclencher sa contraction. Il est véhiculé par des neurones moteurs ou **motoneurones**.

Lexique

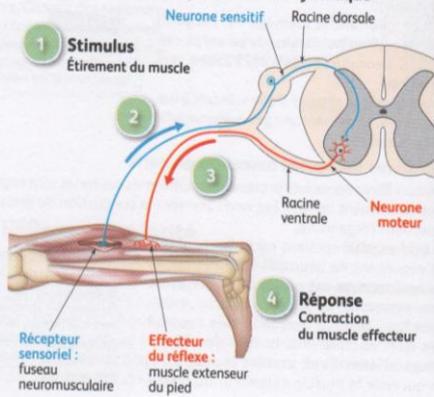
**Motoneurone** : neurone moteur qui commande la contraction du muscle.

B Des connexions dans la moelle épinière

● Les **neurones sensitifs** et **moteurs** sont connectés dans la substance grise de la moelle au niveau d'une **synapse**.

● Le circuit de neurones permettant la contraction du muscle extenseur comporte une seule synapse : c'est une boucle réflexe **monosynaptique**.

Doc. La boucle monosynaptique du réflexe myotatique



Les propriétés du message nerveux

■ Lue ■ Relue ■ Apprise

Les propriétés du message nerveux permettent la réalisation du réflexe myotatique.

1 Le potentiel d'action

A Le potentiel de membrane

● Au repos, la membrane plasmique du neurone comme celle de toute cellule est **électriquement polarisée**.

● La différence de potentiel électrique entre les deux faces de la membrane plasmique du neurone définit le **potentiel de membrane**. En absence de stimulation, il est de  $-70\text{mV}$  et correspond au **potentiel de repos**. La différence de potentiel enregistrée est due à une inégale répartition des ions entre les compartiments extra et intracellulaires.

B Une réponse à la stimulation, le potentiel d'action

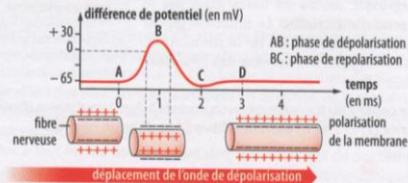
● La **stimulation du neurone** modifie de façon transitoire le potentiel de repos et donne naissance à un **potentiel d'action**.

● Le potentiel d'action est constitué de plusieurs phases : une **dépolarisation** suivie d'une **inversion du potentiel** (le potentiel devient positif), puis une **repoliarisation** de la membrane du neurone.

Lexique

**Potentiel d'action** : signal élémentaire du message nerveux capable de se propager le long d'une fibre.

Doc. Le potentiel d'action



C Les propriétés du potentiel d'action

● Le **potentiel d'action (PA)** est une réponse **stéréotypée**, d'amplitude (100 mV) et de durée constante (1 ms) quelle que soit l'intensité de la stimulation.

● Il ne se déclenche qu'à partir d'un certain **seuil d'excitation** du neurone. On dit que le potentiel d'action obéit à la **loi du tout ou rien**.

Remarque

La loi du tout ou rien  
■ Pas de PA en dessous d'un seuil de stimulation.  
■ Toujours le même PA à partir de ce seuil.

Les propriétés du message nerveux

Le potentiel d'action se propage sur la fibre nerveuse **sans atténuation de son amplitude**. Sa vitesse de circulation le long des fibres nerveuses varie selon leur diamètre et la présence ou non de myéline.

2 Le codage du message nerveux

Au niveau d'une fibre nerveuse, le message nerveux est constitué d'une **succession de potentiels d'action**, d'amplitude constante mais de fréquence variable.

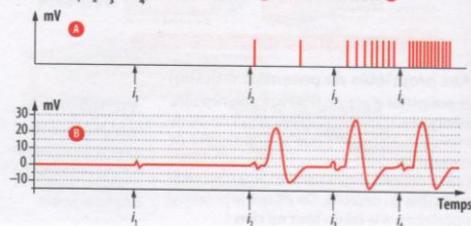
Lorsque l'étirement du fuseau neuromusculaire (ou l'intensité d'une stimulation quelconque) augmente, la fréquence des potentiels d'action qui se propagent sur la fibre nerveuse s'élève aussi. L'intensité d'une stimulation est **codée en modulation de fréquence des potentiels d'action**.

Au niveau du nerf, le message enregistré est un **potentiel global d'amplitude variable**. Le nerf étant constitué de plusieurs fibres, le potentiel global ne correspond pas, contrairement au potentiel d'action, à une différence de potentiel de part et d'autre de la membrane cellulaire.

L'amplitude du potentiel global varie selon le nombre de fibres qui génèrent des potentiels d'action.

Par ailleurs, le **recrutement des fibres est progressif**, toutes les fibres n'ont pas le même **seuil d'excitabilité**. Le potentiel global augmente avec l'amplitude de la stimulation. Ainsi, il correspond à la **somme des réponses** de chaque fibre.

Doc. Le codage du message nerveux soumis à des stimulations d'intensité croissante ( $i_1, i_2, i_3$  et  $i_4$ ) dans une fibre 1 et dans un nerf 2



remarque

Le potentiel global résulte de phénomènes électriques engendrés par les potentiels d'action.

lexique

Seuil d'excitabilité : valeur de la stimulation à partir de laquelle est généré un potentiel d'action.

Traitement de l'information au niveau des synapses

Lue Relue Apprise

Lors de la réalisation d'un arc réflexe, le message nerveux doit passer d'un neurone à l'autre au niveau d'une synapse.

1 Une structure asymétrique

La synapse est une zone de jonction entre deux neurones ou entre un neurone et un organe effecteur comme le muscle.

La synapse neuro-neuronique est constituée de la terminaison de l'axone d'un **neurone pré-synaptique** et du **corps cellulaire d'un neurone post-synaptique**. Les deux neurones sont séparés par une **fente synaptique**.

Les structures pré et post-synaptiques présentent des différences notables :

- **vésicules** contenant un **neurotransmetteur** dans la terminaison **pré-synaptique** ;
- **récepteurs spécifiques** du neurotransmetteur sur la **membrane du neurone post-synaptique**.

remarque

Les synapses se trouvent dans la substance grise de la moelle épinière ou du cerveau.

Dans la synapse neuromusculaire, la membrane plasmique post-synaptique forme de nombreux replis. Ils augmentent la surface et permettent la présence d'un plus grand nombre de récepteurs.

2 Un fonctionnement unidirectionnel

La présence d'une **fente synaptique** séparant les deux neurones interdit la transmission de potentiels d'action.

La transmission synaptique s'effectue par l'intermédiaire d'une substance chimique appelée **neurotransmetteur** ou **neuromédiateur**.

L'arrivée d'un message nerveux sous forme de potentiels d'action entraîne la **migration des vésicules synaptiques** en direction de la membrane pré-synaptique. Elles fusionnent avec celle-ci et libèrent alors leur contenu dans la fente synaptique par **exocytose**.

Grâce à leur **forme complémentaire**, les molécules de neurotransmetteur se fixent sur les récepteurs de la membrane post-synaptique.

Cette fixation déclenche une **variation du potentiel de membrane** du neurone post-synaptique susceptible de donner naissance à des potentiels d'action.

La quantité de neurotransmetteurs libérée dépend de la fréquence des potentiels d'action arrivant à l'extrémité du neurone pré-synaptique. Le message nerveux pré-synaptique, codé en fréquence de potentiel d'action, est converti en un message chimique, **codé en concentration de neurotransmetteurs**.

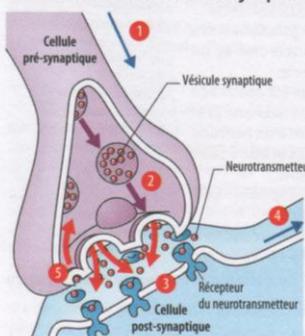
remarque

La forme complémentaire ne concerne qu'une partie des deux molécules, là où se réalise la fixation.

Traitement de l'information au niveau des synapses

La présence de vésicules de neurotransmetteurs à l'extrémité pré-synaptique et de récepteurs sur la membrane post-synaptique impose à la synapse un **fonctionnement unidirectionnel**.

Doc. Le fonctionnement de la synapse



- 1 Arrivée d'un message nerveux
- 2 Exocytose des vésicules contenant le neurotransmetteur
- 3 Fixation du neurotransmetteur sur le récepteur de la cellule post-synaptique
- 4 Départ d'un message nerveux
- 5 Recapture des neurotransmetteurs

3 La synapse neuromusculaire

La jonction entre un neurone et un muscle constitue aussi une synapse. On parle de **synapse neuromusculaire** ou **plaque motrice**.

Comme pour la synapse neuro-neuronique, on y distingue une terminaison pré-synaptique et des récepteurs post-synaptiques, séparés par une fente synaptique. Le neuromédiateur contenu dans les vésicules pré-synaptiques est toujours de l'**acétylcholine**.

Comme pour la synapse neuro-neuronique, le message nerveux pré-synaptique est converti en un message chimique, **codé en concentration de neurotransmetteur**.

La fixation du neurotransmetteur déclenche la naissance de **potentiels d'action musculaires** à l'origine de la contraction du muscle.

Des substances chimiques comme le curare miment la forme de l'acétylcholine et se fixent sur les récepteurs à la place de celle-ci. Le curare bloque alors la contraction musculaire. C'est un **antagoniste** de l'acétylcholine.

Les aires et les voies de la motricité volontaire

Lue Relue Apprise

Parallèlement aux réflexes, d'autres mouvements, cette fois-ci volontaires, participent aux activités motrices de l'organisme.

1 Un contrôle par des aires cérébrales spécialisées

La réalisation d'un mouvement est commandée par une région du **cortex cérébral**, l'**aire motrice**, divisée en zones contrôlant chacune une partie du corps.

La surface de chaque zone du **cortex moteur** n'est pas proportionnelle à celle de la partie du corps correspondante mais dépend de la précision et de la variété des mouvements réalisés par les muscles.

La lésion d'une zone située en avant de l'aire motrice ne supprime pas le mouvement mais entraîne des difficultés de coordination ou apraxie. Cette région, appelée **aire prémotrice**, intervient dans la **programmation du mouvement**.

Les neurones de l'aire motrice sont en relation avec d'autres neurones cérébraux impliqués dans la programmation et le contrôle du mouvement. Ils reçoivent aussi des informations sensorielles.

lexique

**Cortex cérébral** : partie superficielle du cerveau constituée de plusieurs couches de neurones.  
**Cortex moteur** : cortex de l'aire motrice.

2 Des voies descendantes

Les neurones de l'aire motrice établissent des synapses avec les **motoneurones de la moelle épinière**.

Avant d'atteindre la moelle épinière, les fibres des neurones de l'aire motrice franchissent le plan de symétrie : en provenance des deux hémisphères droit et gauche, elles se croisent le plus souvent au niveau du bulbe rachidien.

Ainsi, les neurones issus d'un hémisphère contrôlent la partie opposée du corps.

3 Une intégration par les motoneurones

Dans la moelle épinière, les motoneurones établissent des synapses avec les neurones issus de l'aire motrice. Les neurones sensitifs proviennent des fuseaux neuromusculaires et des interneurones connectés aux neurones sensitifs des muscles antagonistes.

Un motoneurone reçoit ainsi plusieurs informations qu'il traite afin d'élaborer un message unique en direction du muscle.

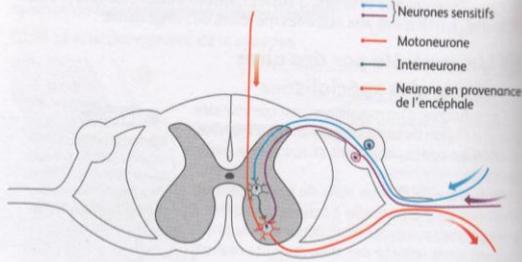
Les aires et les voies de la motricité volontaire

Motricité et plasticité cérébrale

46

Lue Relue Apprise

Doc. Quelques synapses d'un motoneurone



- Les synapses excitatrices favorisent la naissance de nouveaux messages dans le neurone post-synaptique. Au contraire, les synapses inhibitrices tendent à empêcher leur naissance.
- Ainsi, le neurone post-synaptique reçoit des informations parfois contradictoires qu'il traite en même temps. Il réalise la **somme des informations** provenant de différentes synapses. C'est la **sommation spatiale**.
- Un motoneurone reçoit aussi une succession de messages du même neurone pré-synaptique. Si ceux-ci sont suffisamment rapprochés dans le temps, le neurone post-synaptique les additionne et émet à son tour un message. C'est la **sommation temporelle**.
- Sommations spatiale et temporelle permettent au motoneurone de réaliser l'**intégration nerveuse**, c'est-à-dire de prendre en compte les différents messages nerveux reçus afin d'élaborer en réponse un message cohérent. Cette intégration se produit dans les **centres nerveux**, là où se trouvent les synapses neuro-neuroniennes.

remarque

Synapses excitatrice et inhibitrice provoquent des variations inverses du potentiel de la membrane post-synaptique.

Lexique

**Intégration nerveuse :** élaboration d'un message nerveux unique à partir de différentes informations reçues.

Neurone et fibre musculaire : la communication nerveuse

© Nathan 2017 - Mes fiches AVC

Les aires corticales de la motricité ont la capacité d'évoluer en fonction de l'environnement.

1 La plasticité du cortex moteur et l'apprentissage

- L'organisation du cortex moteur est la même pour tous. Elle est **déterminée génétiquement**.
- Néanmoins, la **comparaison des cartes motrices** de plusieurs individus montre des différences importantes. Certaines zones sont plus ou moins développées d'un individu à l'autre.
- L'apprentissage ou l'entraînement à un instrument de musique, par exemple, modifie la carte motrice. Les aires corticales les plus sollicitées se développent au détriment d'autres qui le sont moins.
- Par ailleurs, les différences entre les cartes corticales motrices de plusieurs individus s'accroissent au cours de la vie, ce qui confirme l'**influence de l'environnement et de l'apprentissage**.
- Ces modifications, qui peuvent s'acquérir rapidement, ne sont pas forcément durables : elles demandent à être entretenues. On parle alors de **plasticité cérébrale**.

Lexique

**Carte motrice :** disposition des zones corticales contrôlant les différentes parties du corps.

Lexique

**Plasticité cérébrale :** capacité du cortex à se modifier en fonction de l'environnement.

2 La plasticité du cortex moteur et la récupération après un accident

- Un **accident vasculaire cérébral (AVC)**, en privant le cortex moteur de dioxygène, entraîne une nécrose d'une partie de celui-ci et par voie de conséquence la paralysie des muscles.
- Cette destruction irréversible de zones corticales n'empêche pas une **récupération partielle de la motricité**. En effet, la sollicitation des muscles paralysés, grâce à une rééducation, restaure le contrôle du cortex. Des réaménagements des zones corticales autour de celles détruites permettent à nouveau l'activité musculaire.
- Un phénomène analogue a été constaté après l'amputation des avant-bras. Alors que l'aire corticale motrice des deux avant-bras avait disparu, elle a été restaurée après une greffe des membres amputés. De plus, cette aire a été capable de contrôler les muscles concernés.

Motricité et plasticité cérébrale

- Ces capacités de remaniement sont dues en particulier à une réorganisation des synapses établies entre les neurones corticaux. Ces capacités se réduisent tout au long de la vie.

3 L'évolution de la plasticité du cortex moteur au cours de la vie

- Le déclin des performances intellectuelles avec l'âge pourrait être lié à la diminution du nombre de neurones corticaux. Ainsi, environ 10 % des neurones disparaissent entre le jeune âge et la fin de la vie.
- Néanmoins, les écarts entre individus sont élevés et dépendent de différents paramètres. L'activité physique et intellectuelle régulière ainsi qu'une alimentation adaptée, par exemple riche en antioxydants, ralentit la disparition des neurones et donc le vieillissement **en maintenant le capital nerveux**.

Doc. Les différents paramètres agissant sur le capital nerveux

