



FONCTIONNEMENT DES NEURONES ET TRANSMISSION DE L'INFLUX NERVEUX

POTENTIEL D'ACTION NEURONAL

ok aujourd'hui nouveau cours sur les propriétés des neurones, pas forcément très long ni très compliqué et qui fait des rappels aux cours d'SVT, MAIS QUI TOMBE TOUS LES ANS, le prof aime bien ce cours donc il est rentable à travailler cette année. Prenez le temps de comprendre, posez des questions si vous en avez besoin et retenez bien les propriétés (en évitant de vous mélanger entre intégration neuronale et atonale notamment)

POTENTIEL ÉLECTRIQUE TRANSMEMBRANAIRE

POTENTIEL DE REPOS (**RAPPEL**)

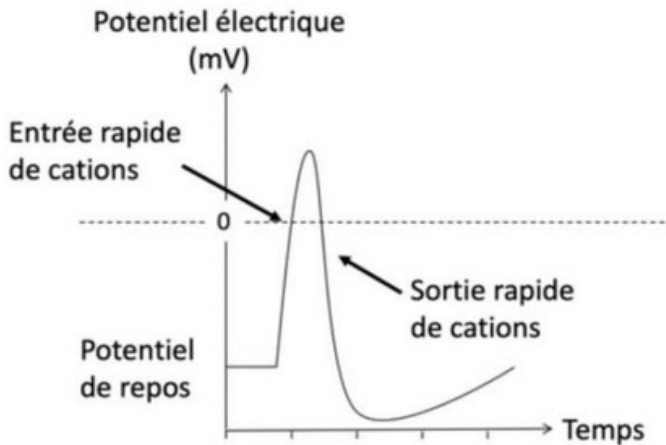
L'existence de ce potentiel de repos dépend de : +++

- L'**asymétrie de répartition du K⁺ et du Na⁺** maintenue par la pompe Na⁺ (entre le liquide cellulaire et le liquide extracellulaire)
- La **perméabilité des canaux K⁺ > perméabilité des canaux Na⁺** entraînant une différence de charge de part et d'autre du feuillet membranaire

POTENTIEL D'ACTION

PA = capacité de ce potentiel membranaire de changer très rapidement

À partir du potentiel de repos, le potentiel électrique transmembranaire se positive et devient plus important que 0, puis se négative jusqu'à descendre même en dessous du potentiel de repos, cela dans un temps très bref.



Phase de **dépolarisation** : entrée rapide de cations dans le cytoplasme

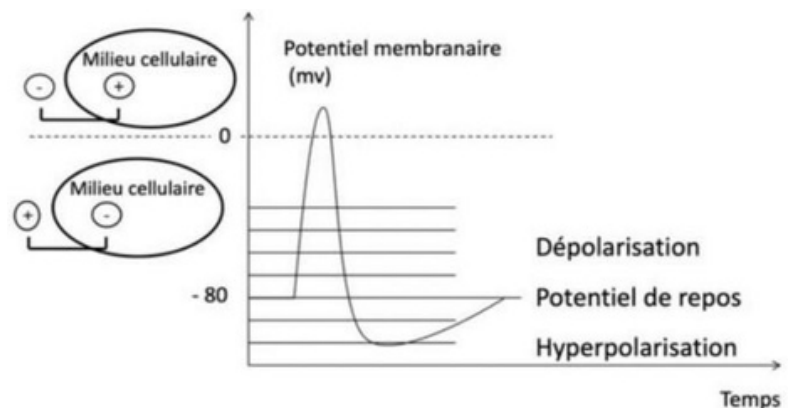
Phase de **repolarisation** : sortie rapide de cations hors du cytoplasme

Conditions du PA : +++

- l'**asymétrie de répartition du K^+ et du Na^+** maintenue par la pompe Na^+
- **présence de canaux**, différents de ceux du potentiel de repos → dont la perméabilité change rapidement.

En pratique, à partir du potentiel de repos, les cellules peuvent évoluer vers un potentiel **plus négatif** = **hyperpolarisation**. Elles peuvent également évoluer vers un potentiel qui se rapproche de 0 = **dépolarisation**.

On voit sur ce schéma que tant qu'on est en dessous de 0, le feuillet membranaire interne est électronégatif, mais quand on franchit le seuil de 0, il est électropositif et les potentiels membranaires s'inversent



Cellules excitables = Ces cellules possèdent des canaux dont la perméabilité varie de manière rapide → dépolarisation rapide

Les cellules qui se dépolarisent **spontanément** sont capables de produire des **rythmes** et sont nommées « **pace maker** » +++

Les cellules pace maker possèdent des canaux dont **la perméabilité augmente de manière rythmique**. Les cellules pace maker sont par exemple les **cellules nodales** (dans le cœur), les **neurones des plexus entériques dans les intestins** (rythme des contractions intestinales), ou les **neurones des rythmes circadiens** (alternance jour/nuit).

Certaines cellules se dépolarisent sur commande, à partir d'un stimulus, comme les neurones, les cardiomyocytes, les cellules musculaires striées ou lisses.

Ces cellules sont donc excitables mais pas spontanément ++

Récap → cellules excitables : pacemaker ET sur commande (les normales)

CONCLUSION

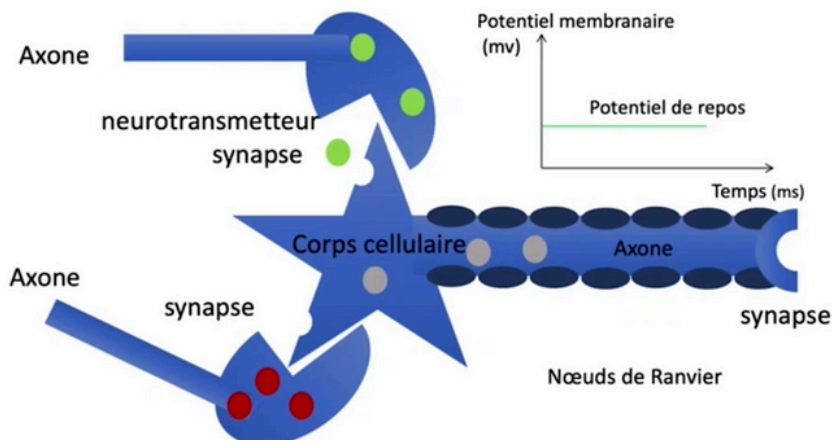
- Le **potentiel de repos est stable** en permanence
- Le PA varie **rapidement**
- Les cellules sujettes à des PA sont dites « **excitables** »

Les cellules spontanément excitables sont des pace maker essentielles aux rythmes biologiques.

INTÉGRATION NEURONALE

FONCTIONNEMENT DU NEURONE



Neurones : cellules capables de faire varier leur potentiel de repos et d'intégrer plusieurs informations.



Voici un schéma avec le corps cellulaire d'un neurone sous forme d'étoile qui se prolonge par l'axone. Le corps cellulaire est soumis à l'influence de neurotransmetteurs à l'intérieur de synapses.

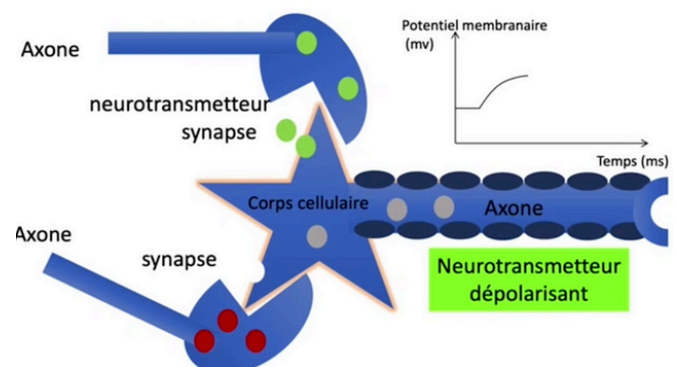
En vert (axone du haut) nous avons des neurotransmetteurs excitateurs et en rouge (axone du bas) des neurotransmetteurs inhibiteurs.

On a également matérialisé les variations du potentiel membranaire en fonction du temps, avec le potentiel de repos.

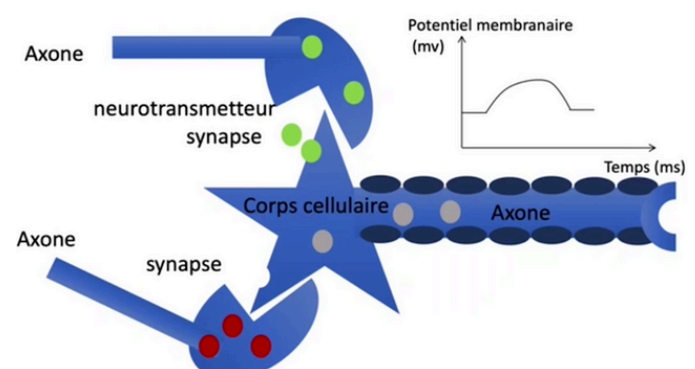
Un neurotransmetteur excitateur entraîne une **dépolarisation**, et le potentiel membranaire se déplace vers le haut , et s'il est **inhibiteur**, il entrainera une **hyperpolarisation**, et le potentiel membranaire se déplacera vers le bas .

Si on considère l'arrivée de neurotransmetteurs excitateurs, **dépolarisants**, on voit le potentiel membranaire évoluer en se rapprochant de 0.

→ Dépolarisation du corps cellulaire

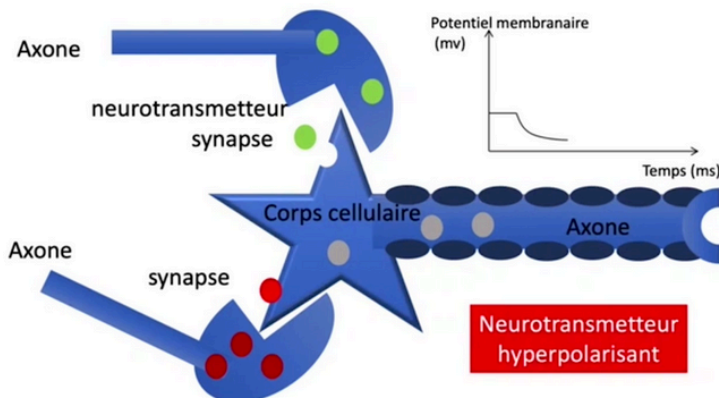


→ Repolarisation du corps cellulaire



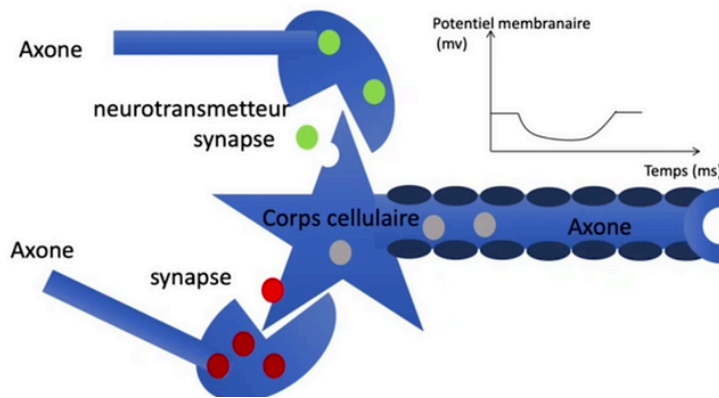
Ensuite, ce potentiel membranaire retourne au potentiel de repos car les neurotransmetteurs ne sont pas produits en quantité plus importante.

→ Hyperpolarisation du corps cellulaire



Inversement, en présence de **neurotransmetteurs hyperpolarisants (inhibiteurs)**, le potentiel membranaire s'éloigne de 0, comme on le voit sur le schéma en haut à droite, il décroît.

→ Retour au potentiel de repos



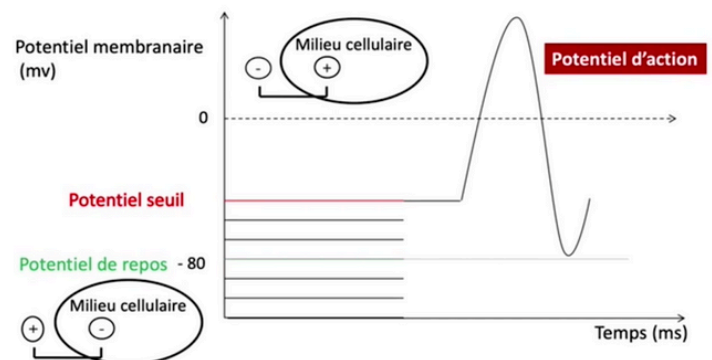
Lorsque les neurotransmetteurs arrêtent d'être produits dans la synapse, le potentiel membranaire retourne à sa valeur de repos.

LES 4 RÈGLES DE L'INTÉGRATION NEURONALE

→ REPONSE GRADUEE

Le corps neuronal va être capable de **modifier graduellement**, de manière discrète, le potentiel de repos vers la dépolarisation ou l'hyperpolarisation en fonction des neurotransmetteurs incidents (inhibiteur ou excitateur).

Le potentiel du corps neuronal peut être inférieur au **potentiel de repos**, il peut également être supérieur à celui-ci, pour atteindre un **potentiel seuil**. Lorsque ce potentiel seuil atteint la zone gâchette (au tout début de l'axone) du corps neuronal, il y a le déclenchement d'un PA dans l'axone.



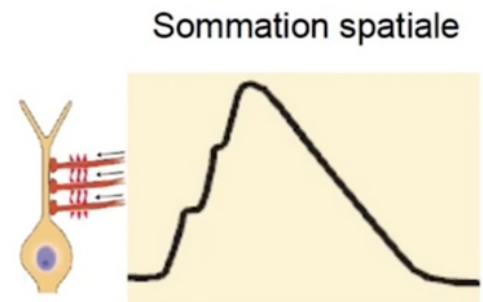
→ SOMMATION SPATIALE ET TEMPORELLE

Le corps neuronal est capable d'intégrer **en différents points** et en **différents temps** l'influence des neuromédiateurs (=neurotransmetteurs).

Addition des potentiels électriques liés à l'arrivée du ou des neuromédiateurs.

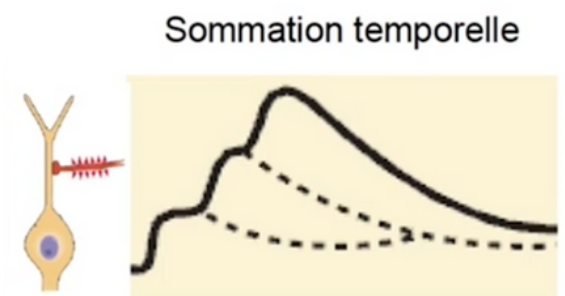
Sommation spatiale →

un ou plusieurs neuromédiateurs parviennent en des points différents du même corps neuronal



Sommation temporelle →

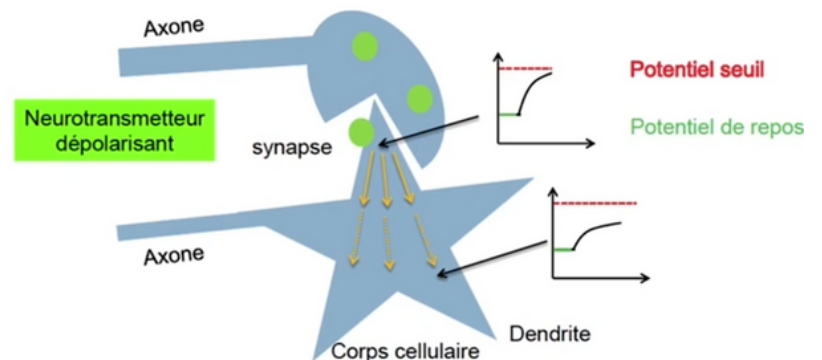
un neuromédiateur parvient successivement dans le temps au même point du corps neuronal



→ PROPAGATION DECRÉMENTIELLE

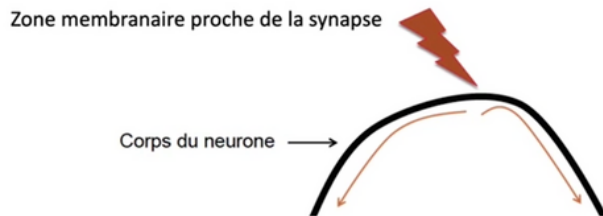
Sur toute la surface du corps neuronal, le potentiel électrique va varier, l'intensité du potentiel électrique **diminue lorsque l'on s'éloigne** de sa zone d'intensité maximale au niveau du corps neuronal.

Si l'on regarde ici l'effet d'un **neurotransmetteur dépolarisant**, on voit que le potentiel de repos évolue vers le potentiel seuil avec une intensité assez grande (au niveau de la synapse), mais pas suffisante pour créer un PA lorsqu'on s'éloigne de la synapse (en mesurant l'intensité au niveau de la zone gâchette).



→ PROPAGATION NON ORIENTÉE

Le potentiel s'étend dans toutes les directions sur le corps neuronal.



La propagation électrique de la dépolarisation et de l'hyperpolarisation s'étend dans **toutes les directions** sur le corps neuronal, dans les 3 dimensions, **sans orientation possible++**. Si l'on regarde ici en 2 dimensions, la zone membranaire proche de la synapse fait varier son potentiel, qui étend son influence dans toutes les directions.

RÉCAP / CONCLUSION

- Le potentiel de repos du corps neuronal n'est **pas stable**, et il est influencé par les neurotransmetteurs **hyperpolarisants** et **dépolarisants**.
- Le corps neuronal intègre ces **différentes influences**

Intégration neuronale : capacité d'un neurone à modifier sa polarisation en fonction des neurotransmetteurs incidents sur **toutes les zones du corps neuronal** et dans un temps donné

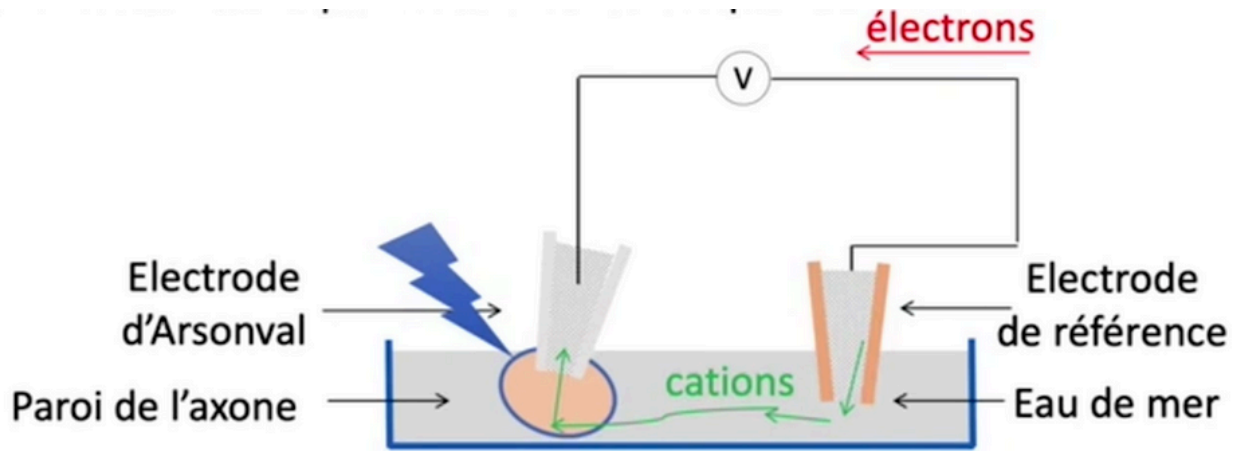
- Le neurone réagit de plusieurs manières (**graduation, sommation, décrétement, non-orientation**) +++

CANAUX IONIQUES DU PA AXONAL

ASPECTS HISTORIQUES

Historiquement, voici le montage expérimental utilisé. Il s'agit d'un bain dans lequel trempe l'axone d'un calmar géant qui a l'avantage d'avoir un gros diamètre accessible à la microponction. Dans cet axone on peut introduire une électrode suffisamment fine et la relier à une électrode de référence qui trempe dans le bain d'eau de mer où l'axone est introduit.

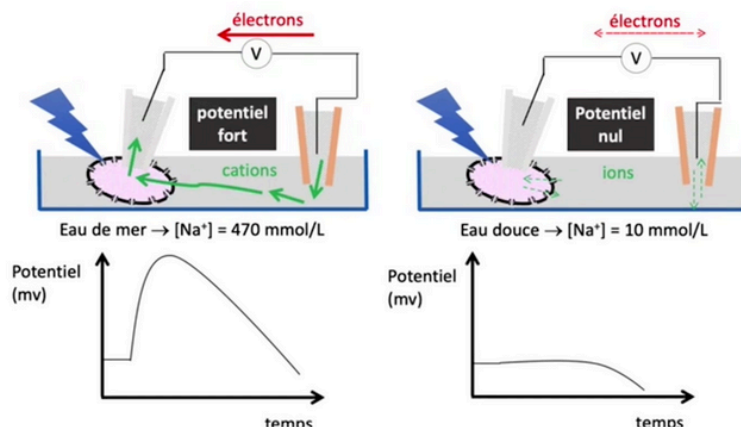
On relie ces électrodes avec un circuit électrique équipé d'un Voltmètre et on déclenche un stimulus sur la paroi de l'axone à l'aide d'un courant électrique extérieur.



Lorsque l'axone de calmar est trempé dans l'eau de mer, on observe qu'il existe une différence de potentiel rapide lorsque l'on stimule l'axone signifiant que des courants osmotique et électrique se mettent en œuvre sous l'effet du stimulus électrique externe.

Pour savoir de quels types de cations est fait ce courant osmotique, historiquement, la manœuvre a consisté à remplacer l'eau de mer par de l'eau douce qui ne contient pratiquement pas de sodium. La stimulation électrique externe de l'axone ne déclenche aucun potentiel dans le circuit électrique.

→ mesure du potentiel d'action axonal



On en déduit que les canaux à l'origine du PA axonal sont des **canaux sodiques**. +++

Cette découverte a été couronnée par un prix Nobel à Sir John Carew Eccles, Alan Lloyd Hodgkin et Andrew Fielding Huxley en 1963.



Sir John Carew Eccles



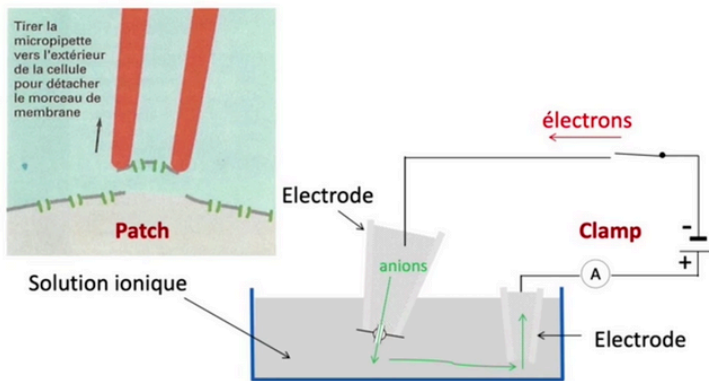
Alan Lloyd Hodgkin



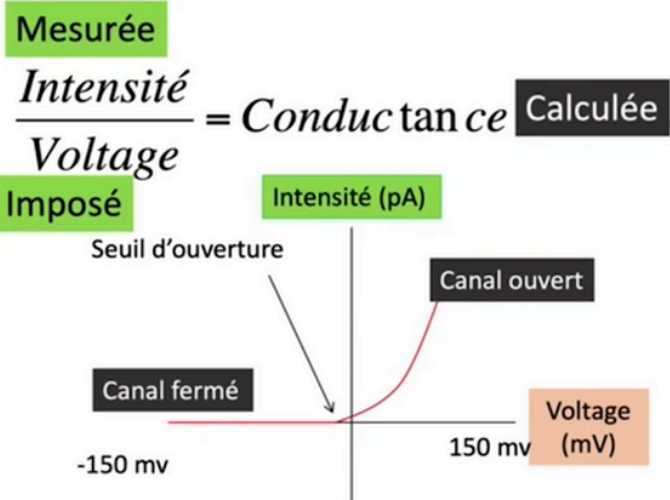
Andrew Fielding Huxley

Patch clamp (rappel encore) :

→ canal voltage-dépendant

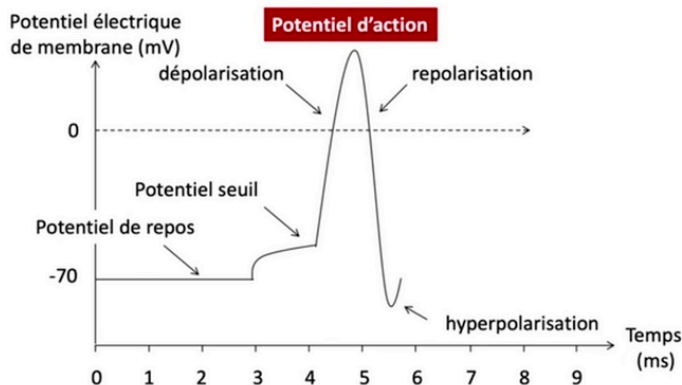


Il existe donc des **canaux voltage-dépendants** que le patch clamp a permis de caractériser. On trempe une électrode avec une membrane patchée (accrochée, cf. schéma) à son extrémité dans un bain relié à un circuit électrique externe, équipé d'un ampèremètre. (il dit galvanomètre à l'oral)



On observe que lorsqu'on fait varier le voltage dans le circuit de -150mV à +150mV, on enregistre un courant seulement pour une valeur seuil de différence de potentiel légèrement en dessous de 0. Ensuite, l'intensité du courant augmente avec le voltage. C'est la caractéristique des **canaux voltage-dépendants** situés sur l'axone et responsables du PA ++

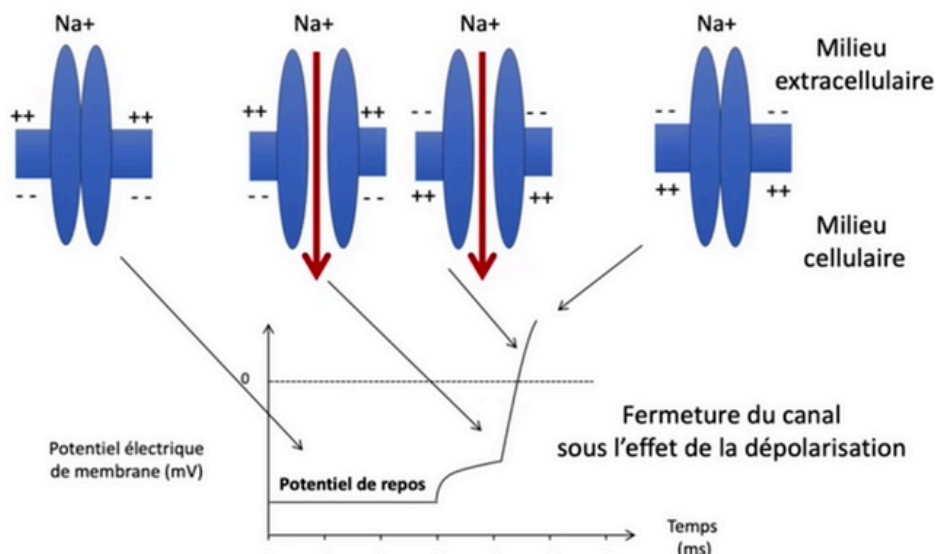
DESCRIPTION DU PA AXONAL



On voit ici un potentiel de repos fixé à -70mV sur la zone gâchette du neurone. Lorsque la **dépolarisation** atteint la **valeur seuil**, un **PA** se déclenche avec une **dépolarisation** (la 2ème), une **repolarisation**, suivie d'une phase d'**hyperpolarisation**. On retourne ensuite au **potentiel de repos**.

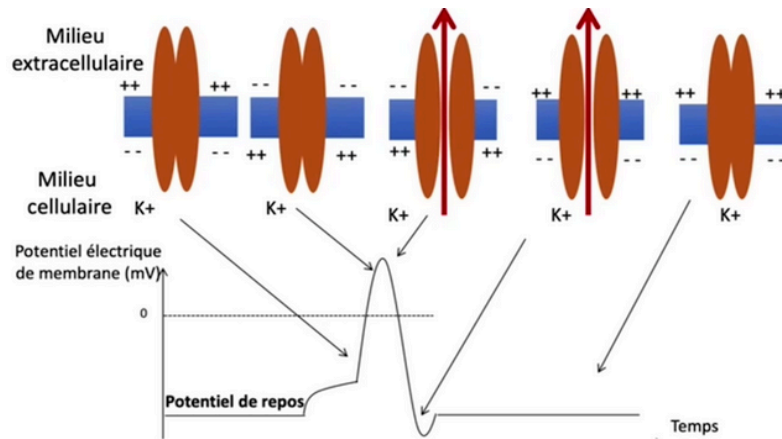
Dépolarisation (1ère) → Valeur seuil → dépolarisation (2ème) → repolarisation → hyperpolarisation → potentiel de repos

Au moment où la zone gâchette du corps neuronal est au potentiel de repos, les **canaux sodiques** de la phase de dépolarisation sont **fermés**. Ils vont **s'ouvrir brutalement** dès que le **potentiel atteindra la valeur seuil**, permettant au **sodium de passer** selon son gradient chimique, de la zone où il est le plus concentré (à l'extérieur de la cellule (cf. fiche potentiel de repos 144mmol/L (pas à savoir)), vers le **cytoplasme** où il est quasiment absent (10mmol/L). Les **canaux sodiques** restent ouverts jusqu'à une valeur de dépolarisation qui dépasse l'inversion du potentiel, puis se **ferment brutalement**.



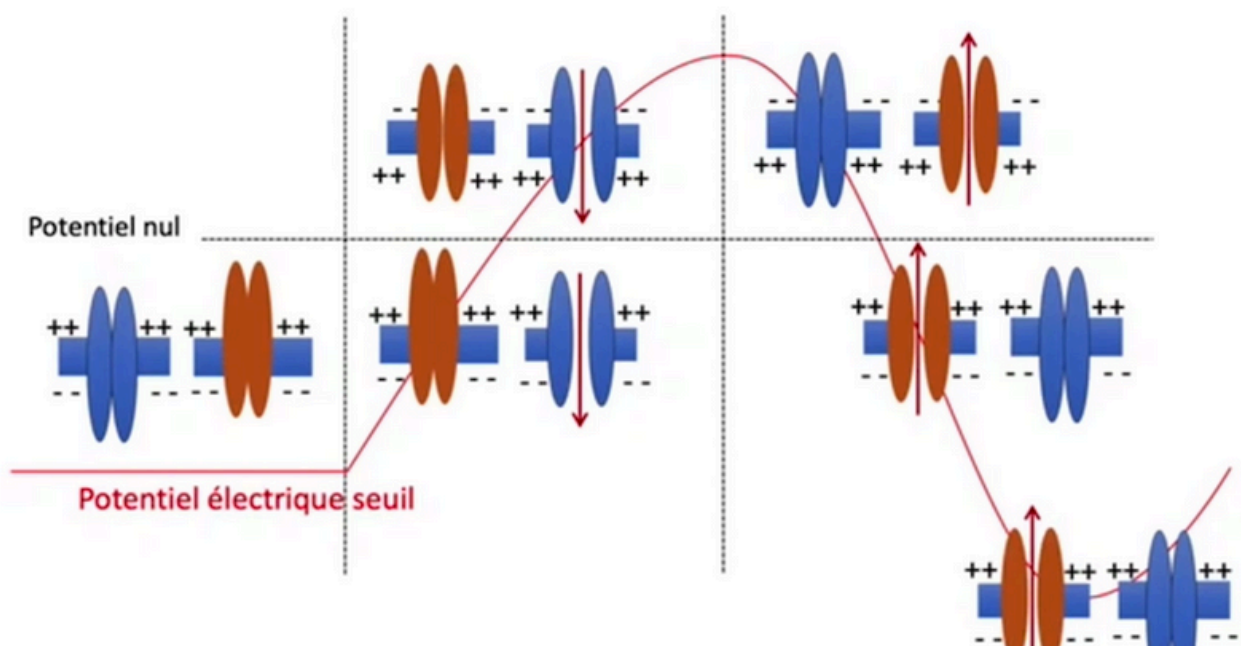
A ce moment là, on entre dans la « zone » de repolarisation, où les **canaux potassiques** vont intervenir ++

Les **canaux potassiques** restent fermés pour des valeurs de potentiel membranaire où les **canaux sodiques** sont ouverts. Ils restent fermés jusqu'à une valeur seuil qui correspond au **pic du PA qui déclenche leur ouverture**. Lorsqu'ils s'ouvrent, le **potassium (K⁺) sort** car il est très abondant à l'intérieur de la cellule contrairement à l'extérieur (40 fois + à l'int). Ces **canaux** restent ouverts très longtemps → ce qui explique la phase d'**hyperpolarisation** (à cause d'une sortie accrue de K⁺) par rapport au potentiel de repos. Puis ils se ferment, de la même manière que les **canaux sodiques** sont fermés à ce moment-là.



On représente le jeu simultané des **canaux sodiques en bleu** et **potassiques en marron**.

Au moment où le potentiel électrique seuil est atteint, les **canaux sodiques s'ouvrent** les premiers, restent ouverts longtemps tandis que les **canaux potassiques** sont **fermés**.



Puis au pic du PA, les **canaux sodiques** se ferment et les **canaux potassiques** s'ouvrent, donc → la cellule se repolarise; les charges positives du sodium qui ont provoqué la dépolarisation sortent sous forme de potassium. **Les canaux potassiques restent ouverts très longtemps** permettant l'**hyperpolarisation**. Enfin, les **canaux potassiques** finissent par se fermer, comme les **canaux sodiques**, au moment où le corps neuronal au niveau de sa zone gâchette aura retrouvé son potentiel de repos.

RÉCAP / CONCLUSION

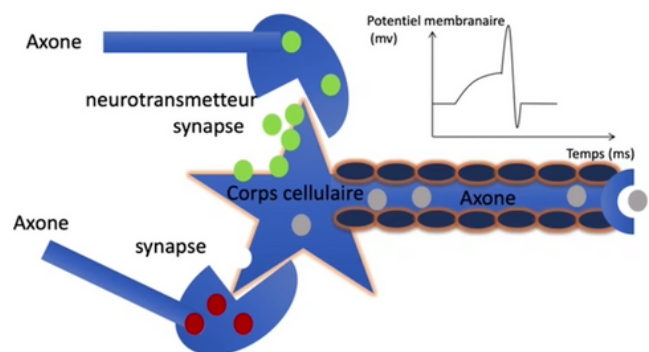
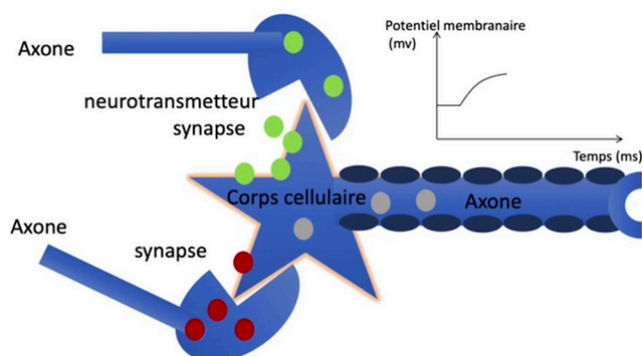
- Les canaux du PA sont **voltage-dépendants** (différents de ceux qui assurent le potentiel de repos).
- Les flux ioniques déclenchés par l'**ouverture** et la **fermeture** de ces canaux dépendent des **gradients chimiques** du Na^+ et du K^+ .

CANAUX IONIQUES DU PA AXONAL

LES 4 RÈGLES DE LA PROPAGATION NEURONALE

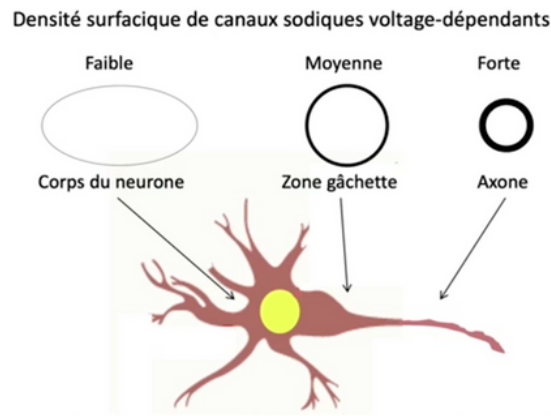
→ REGLE DU TOUT OU RIEN

Ici, un **neurotransmetteur (NT) dépolarisant** est délivré sur le corps cellulaire. Au niveau de sa zone gâchette, le corps cellulaire atteint un potentiel seuil, et le PA est déclenché avec la délivrance d'un NT dans l'axone (à droite au niveau de la synapse).



Dans le cas où la quantité de NT (dépolarisants) n'est pas suffisante → il y a une dépolarisation membranaire qui n'aboutit pas au potentiel seuil au niveau de la zone gâchette et il n'y a pas de PA.

Zone gâchette : zone où la densité surfacique des canaux voltage-dépendants est forte vers l'axone, faible sur le corps neuronal



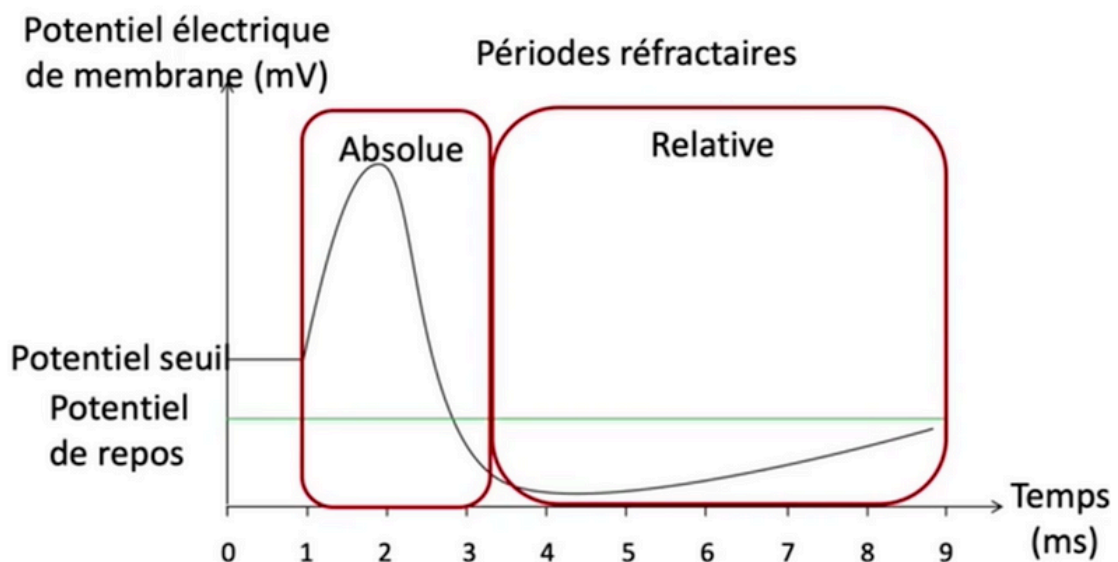
C'est ce qui donne à cette zone la capacité de générer un PA.

→ INEXCITABILITE PERIODIQUE

Le PA va être responsable du changement de conformation des canaux sodiques et potassiques, ce qui explique que **pendant un certain temps ces canaux ne peuvent pas retrouver une conformation autre.**

Période réfractaire absolue : pendant la phase de dépolarisation et de repolarisation, il ne peut pas y avoir de déclenchement d'un nouveau PA car les canaux ne sont pas dans une conformation qui le permet.

Période réfractaire relative : lorsque la cellule est en train de retrouver son potentiel de repos (après l'hyperpolarisation), une dépolarisation membranaire intense peut produire un nouveau PA



Les périodes réfractaires correspondent au temps nécessaire pour que les canaux voltages-dépendants retrouvent leur conformation de repos qui leur confèrent leurs propriétés.

→ PROPAGATION NON-DECREMENTIELLE

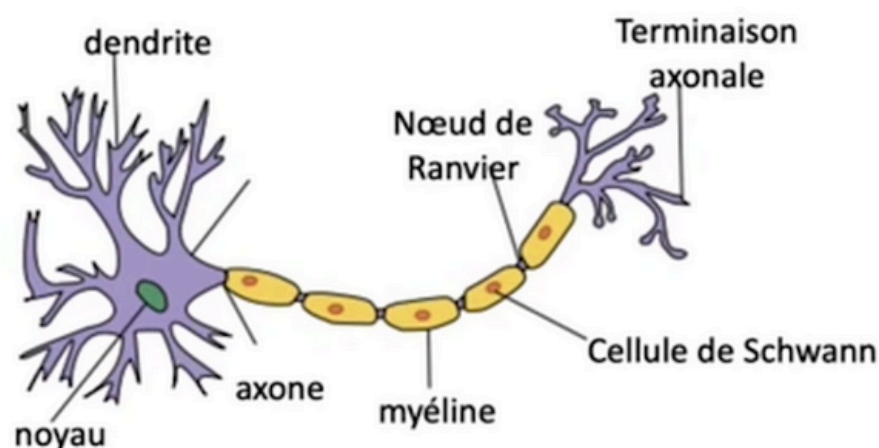
Composantes contradictoire dans l'axone :

- **Composante cytoplasmique** : plus le diamètre de l'axone est grand, **moins** il y a de résistance à la propagation du courant osmotique du PA.
- **Composante membranaire** : plus la surface axonale est grande, **plus** il faut de temps pour la dépolariser

Un gros axone conduit le PA plus vite qu'un petit axone, mais la grande surface membranaire d'un axone au large diamètre ralentit la propagation du PA (*cette notion tombe beaucoup, c'est important à comprendre*) +++

Cette contradiction est résolue par une substance électriquement isolante lipidique déposée sur l'axone : la **gaine de myéline**. Chaque manchon de myéline est séparé d'un autre par un **noeud de Ranvier**.

Le PA va dépolariser la zone membranaire du noeud de Ranvier et pas la membrane au niveau de la gaine de myéline.



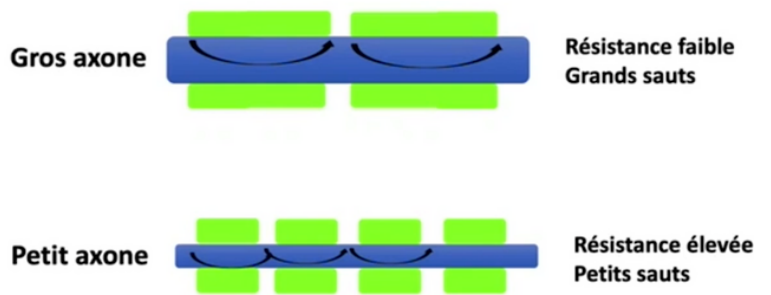
Le potentiel d'action va d'un noeud de Ranvier à l'autre.

Ainsi, un gros axone myélinisé conduit plus vite qu'un petit axone myélinisé

La dépolarisation membranaire a lieu au niveau des nœuds de Ranvier.

Pour un gros axone, la résistance est faible et la surface membranaire à dépolariser est petite car la substance isolante est disposée de manière large.

Un petit axone conduit le PA avec une résistance élevée et des petits sauts



La vitesse de conduction des PA est proportionnelle au diamètre de l'axone +++

De plus, un axone myélinisé conduit plus vite qu'un axone non myélinisé à diamètre égal ++

→ Un axone myélinisé de 10 µm de diamètre conduit aussi vite qu'un axone de 500 µm de diamètre sans myéline (vitesse x 50).

Une des conséquences physiologiques est que les fibres qui conduisent rapidement sont plutôt des fibres sensibles de la proprioception et des fibres de la commande motrice des muscles squelettiques (cf. anatomie au S2).

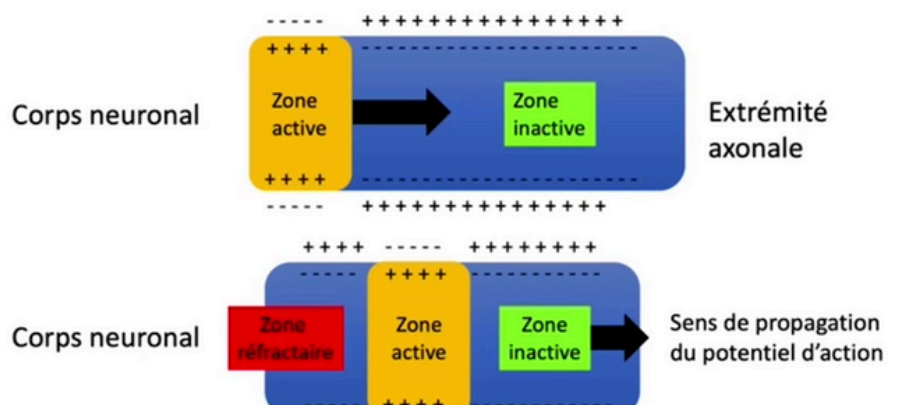
Les fibres de la proprioception permettent de définir la position des membres les uns par rapport aux autres et de mobiliser le squelette de manière organisée.

Les fibres à conduction lente, non myélinisées, seront principalement dans le système nerveux viscéral ou autonome.

→ PROPAGATION ORIENTEE

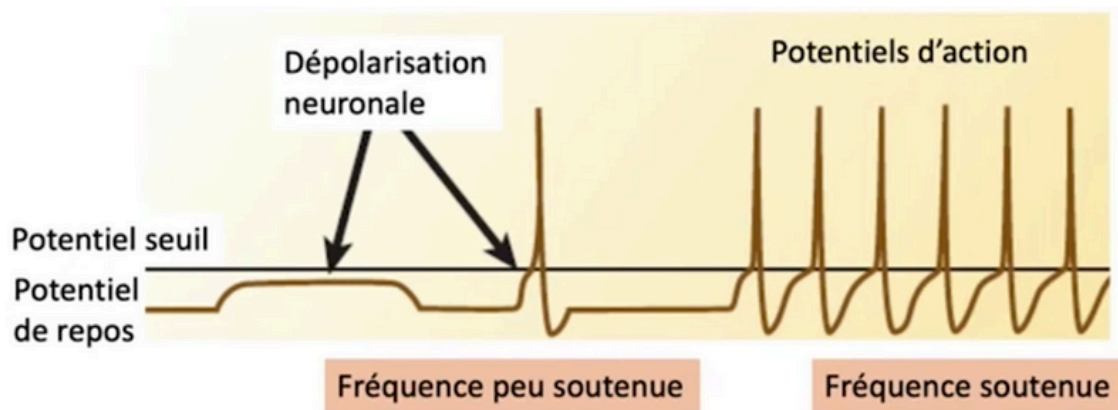
La propagation du PA ne peut pas se faire dans les deux sens, elle est orientée. Lorsque l'axone commence à se dépolariser au niveau de la zone gâchette, il y a une propagation de proche en proche de cette dépolarisation, et il y a une zone réfractaire qui est en amont de la zone active.

Ainsi, l'axone ne peut pas conduire à rebours le PA (le PA ne se dirige pas vers l'arrière).



Le codage de l'intensité du signal dépend uniquement de la fréquence +++ du PA qui peut aller de 200 à 900 par seconde, à une fréquence plus ou moins soutenue en fonction de l'intensité [du stimulus].

(Donc par exemple : si tu te tapes l'orteil plus ou moins fort, ce n'est pas l'intensité des PA qui changera mais la fréquence et uniquement la fréquence ++++)



Fréquence maximale des potentiels d'action 200 à 900 par secondes.

RÉCAP / CONCLUSION

- **Règle du tout ou rien**
- **Inexcitabilité périodique** (pas de sommation)
- **Propagation non décrementielle** du PA (même intensité)
- **Propagation orientée du PA** (unidirectionnelle)

UNIFORMITÉ DU SIGNAL ET DIVERSITÉ D'ACTION

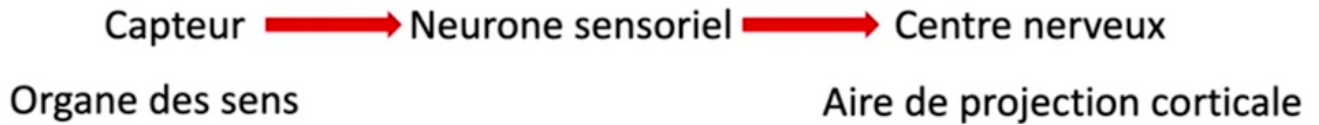
PA : SEUL MODE D'EXPRESSION DES NEURONES

PA → seul mode d'expression des neurones

Fréquence du PA → seul codage de l'intensité du signal ++

Comment, avec un module aussi simple, peut-on percevoir des sons, des couleurs, et diriger des mouvements de manière précise ?

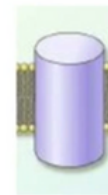
→ Cela tient à la nature du capteur et à l'aire de projection corticale du neurone sensoriel (corticale = au niveau du cortex, vous comprendrez mieux en anat tête et cou).



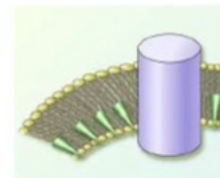
Les organes des sens sont équipés d'outils permettant d'interagir avec l'environnement, et les centres nerveux de projection sont éduqués pour analyser ces signaux complexes. La réalité de ce système de perception sensorielle est extrêmement complexe.

Exemple de la perception tactile ou thermique :

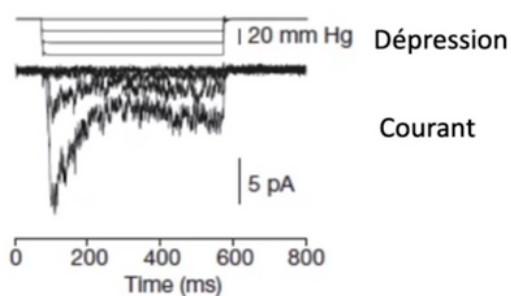
Les capteurs sont des canaux cationiques non sélectifs inclus dans la membrane plasmique et dont la perméabilité va dépendre des contraintes mécaniques. Une variation de température va influencer la fluidité membranaire tandis qu'une variation de pression va déformer la membrane et déclencher ou non des passages ioniques à travers ces canaux.



Température = fluidité membranaire



Pression = déformation de la membrane



Canal mécanosensible



Lorsqu'on patch une membrane qui contient un canal mécanosensible, on peut montrer que l'intensité du courant dépend de la force avec laquelle on aspire la membrane.

Si on regarde l'intensité du courant en fonction du temps pour un voltage fixe : l'intensité est d'autant plus forte que la pression exercée par l'aspiration de la membrane est forte.

Discrimination sensorielle :

$$\text{Discrimination} = \frac{\text{nb de neurones sensoriels}}{\text{nb capteurs}} \leq 1$$

Plus il y aura de neurones sensoriels pour un nombre de capteurs donné, plus la sensation sera discriminante ++

→ Discrimination **optimale** si rapport = à 1

→ Discrimination **sub-optimale** si rapport < 1

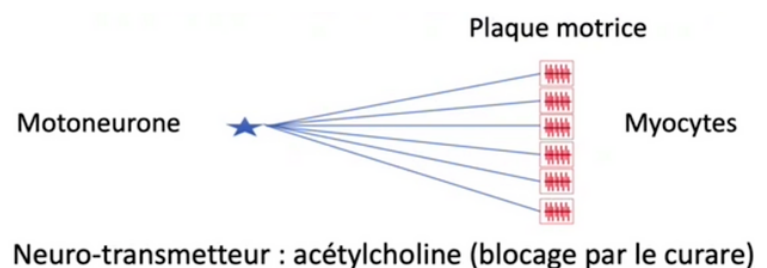
La discrimination sera optimale pour un rapport égal à 1, et elle diminuera proportionnellement avec la valeur de ce rapport (en gros on a au maximum un neurone par capteur (c'est énorme rendez-vous compte du truc) ce qui donnerait une sensation hyper discriminante, c'est-à-dire très précise, autant par sa nature que par sa localisation)

FRÉQUENCE DU PA

Commande du mouvement volontaire :

Il existe des plaques motrices impliquées dans une unité motrice (Plaque motrice = ± synapse neuromusculaire ; Unité motrice = ensemble de myocytes innervés par un même motoneurone).

Rappel : Les fibres des muscles striés squelettiques sont des cellules excitables et chaque myocyte reçoit une ramification d'un motoneurone au sein de la plaque motrice. Le NT est ici systématiquement l'acétylcholine qui a son site de fixation bloqué par le curare (utilisé en chirurgie pour immobiliser un patient pendant une intervention délicate)

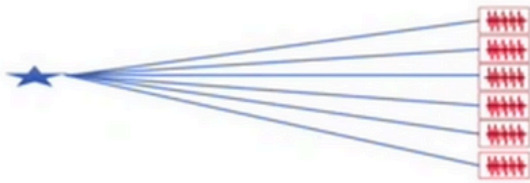


La commande du mouvement volontaire est plus ou moins précise selon si le rapport entre le nombre de motoneurones et le nombre de fibres musculaires est proche ou non de 1.

Un muscle postural (le long de la colonne vertébrale permettant la verticalité) a une précision très faible (<1).

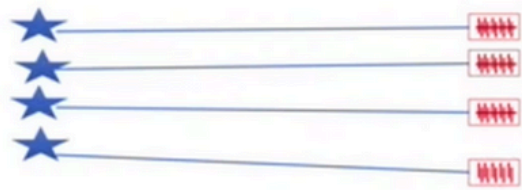
En revanche, en ce qui concerne les muscles des doigts ou du globe oculaire, la précision est très forte et le nombre de motoneurones est quasi équivalent au nombre de fibres musculaires.

$$\text{Précision} = \frac{\text{nb de motoneurones}}{\text{nb de fibres musculaires}}$$



Innervation d'un muscle postural

$$\text{Précision} = \frac{\text{nb de motoneurones}}{\text{nb de fibres musculaires}} < 1$$



Innervation d'un muscle digital ou oculaire

$$\text{Précision} = \frac{\text{nb de motoneurones}}{\text{nb de fibres musculaires}} = 1$$

RÉCAP/ CONCLUSION

- Le neurone a un langage limité
- La complexité du système nerveux permet une variation d'effets selon la connexion des neurones avec les centres nerveux, les capteurs ou les effecteurs
- **La discrimination dépend du rapport entre le neurone et le capteur ou l'effecteur**



→ QCM moodle, faites-les parce que ce sont les QCM du prof donc il appuie sur les points ++ (réponses après les dédis)

QCM 1 : Concernant le potentiel membranaire d'un neurone, quelles sont les propositions vraies ?

- A. La dépolarisation est la tendance du potentiel à se rapprocher de 0
- B. La dépolarisation d'un neurone est secondaire à l'action d'un neurotransmetteur inhibiteur
- C. L'hyperpolarisation est la tendance du potentiel à se rapprocher de 0
- D. L'hyperpolarisation d'un neurone est secondaire à l'action d'un neurotransmetteur excitateur
- E. Tout est faux

QCM 2 : L'intégration neuronale obéit à certaines des règles suivantes, lesquelles ?

- A. Loi du tout ou rien
- B. Période réfractaire
- C. Sommation spatiale
- D. Sommation temporelle
- E. Tout est faux

QCM 3 : La propagation du potentiel d'action obéit à certaines règles, lesquelles ?

- A. Propagation orientée
- B. Loi du tout ou rien
- C. Propagation décrémente
- D. Vitesse variable selon le diamètre des fibres nerveuses
- E. Tout est faux

QCM 4 : Parmi les propositions suivantes concernant les canaux ioniques, lesquelles sont exactes ?

- A. Les canaux cationiques non sélectifs sont voltage-dépendants
- B. Les canaux sodiques du potentiel d'action neuronal sont voltage-dépendants
- C. Les canaux potassiques et les canaux sodiques du potentiel d'action sont ouverts simultanément
- D. L'ouverture de canaux sodiques entraîne une dépolarisation
- E. Tout est faux



→ QCM ANNALES 2023 PR. FAVRE :

Concernant les canaux ioniques responsables du déclenchement du potentiel d'action neuronal, quelle(s) est(sont) la(les) proposition(s) exacte(s) ?

- A. Ce sont des canaux potassiques
- B. Ce sont des canaux voltage-dépendants
- C. Ce sont des canaux abondants sur la zone gâchette du corps neuronal
- D. Ce sont des canaux similaires à ceux qui déterminent la phase 0 du potentiel d'action des cardiomyocytes
- E. Les propositions A, B, C et D sont fausses

DEDIS :

dédis à ma famille officieuse de pl, mes marraines Noélie et Laura, mes cofillots Camille, Aya, Léa

D'ailleurs dédis aux fiches bristol de Noélie quel banger, je dois leur dois ma note en bioch

dédis la team a la bu en pl : françois, maelle, gaby, colin, yanis, roxanne, esther, léo et victoria (feet en y repensant c'était minimum single de diamant) et le gouffre temporel qui sortait de nulle part dès qu'on décidait de faire une pause (la las 2 vous la fracassez cette année comme le dos de françois pour sa remise de ceinture noire)

dédis à mes fillots

dédis à mes fillots officieux ces fous du bus y'en a pas un pour rattraper l'autre, heureusement que vous travaillez (sauf Marc) sinon votre père aurait dû prendre des mesures pour vous remettre dans le droit chemin et croyez moi je suis pas dans l'éducation positive

dédis aux murs de mon appart remplis de fiches en pl, et pas dédis à ceux qui n'avaient pas la vision quand je leur disait que faire un « tour de mur » avant l'examen classant ou les EBs c'était une de mes meilleures techniques en pl

re dédis à mes incroyables cotuts et youngmin qui pète son crâne au tut' cast (dédis aussi à maeva qui a du supporter mes idées ~~débiles~~ incroyables pour rajouter du peps au podcast)

dédis à lucas qui comprend pas qu'aller au high et travailler efficacement le lendemain à 8h c'est pas viable (on lui en veut pas il est en co)



Réponses :

QCM 1 : A

QCM 2 : CB (AB concernent la propagation neuronale)

QCM 3 : ABD (C concerne intégration neuronale)

QCM 4 : BD (A fausse : canaux mécano-sensibles)

QCM annales 2023

A) Faux : sodique

B) Vrai

C) Vrai (⚠️ ambigu ⚠️) : normalement c'est densité moyenne, "forte vers l'axone et faible sur le corps neuronal", là on dit la zone gâchette du corps neuronal, je compterais quand même vrai

D) Vrai

E) Faux