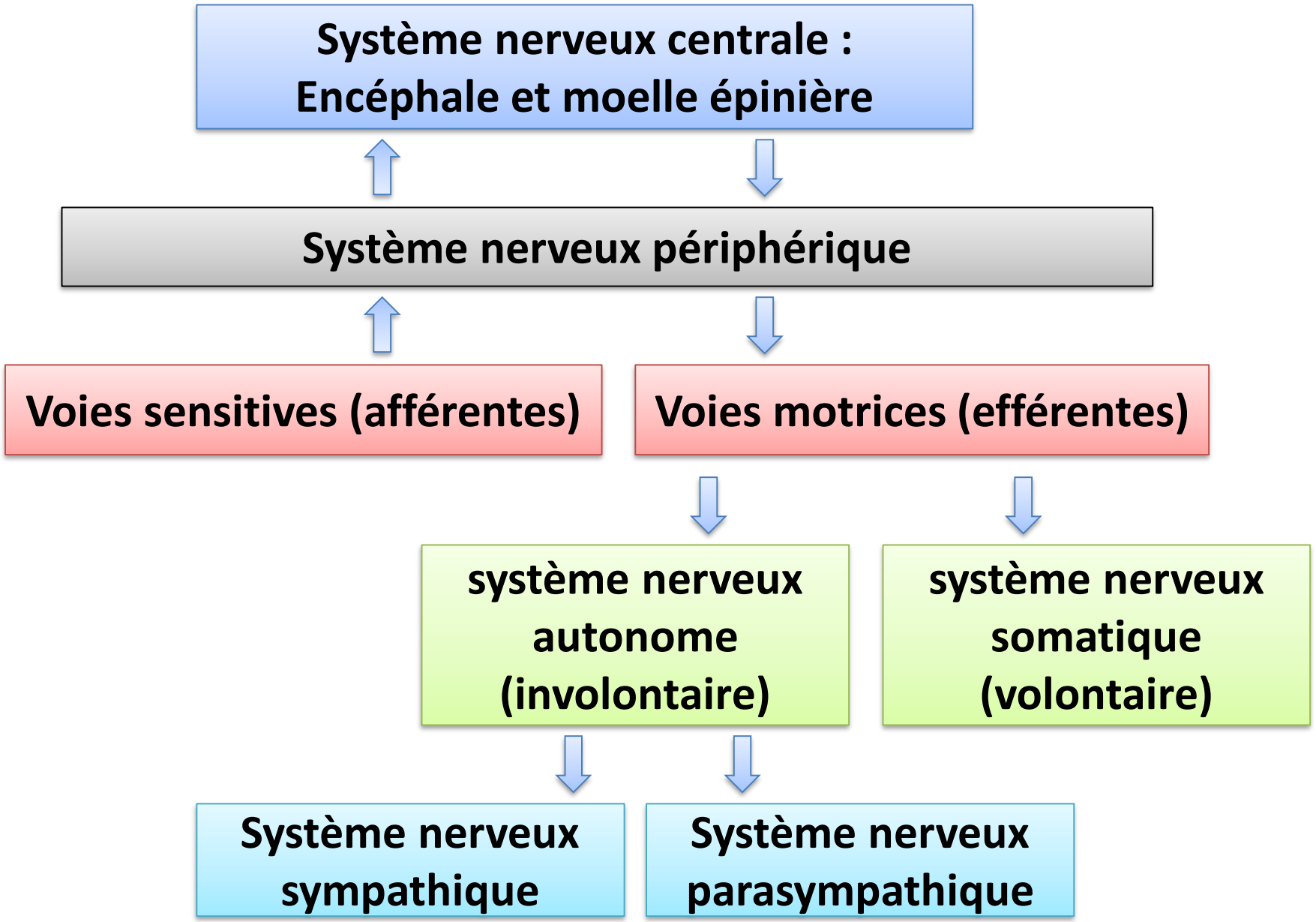
المراقبة العصبية للحركة

Le contrôle nerveux du mouvement

ينقسم الجهاز العصبي إلى جزئيين كبيرين رئيسيين هما: الجهاز العصبي المركزي (SNC)، و الجهاز العصبي المحيطي (SNP). الجهاز العصبي المركزي يتكون من الدماغ و النخاع الشوكي بينما الجهاز العصبي المحيطي يتكون من المسار الحسي (afférente) و المسار الحركي (efférente) .

المسار الحسي يعلم باستمرار الجهاز العصبي المركزي بالأحداث التي تحصل خارج و داخل الجسم. استجابة لإشارات المسار الحسي، المسار الحركي ينقل المعلومات القادمة من الجهاز العصبي المركزي إلى مختلف أجزاء الجسم. المسار الحركي يتكون من الجهاز العصبي الذاتي (autonome) (اللاإرادي) و الجهاز العصبي الجسدي الإرادي (Somatique). الجهاز العصبي الذاتي يتكون كذلك من قسمين وظيفيين هما الجهاز العصبي السمبثاوي (sympathique) و الجهاز العصبي البراسمبثاوي (parasympathique) .

Organisation du système nerveux

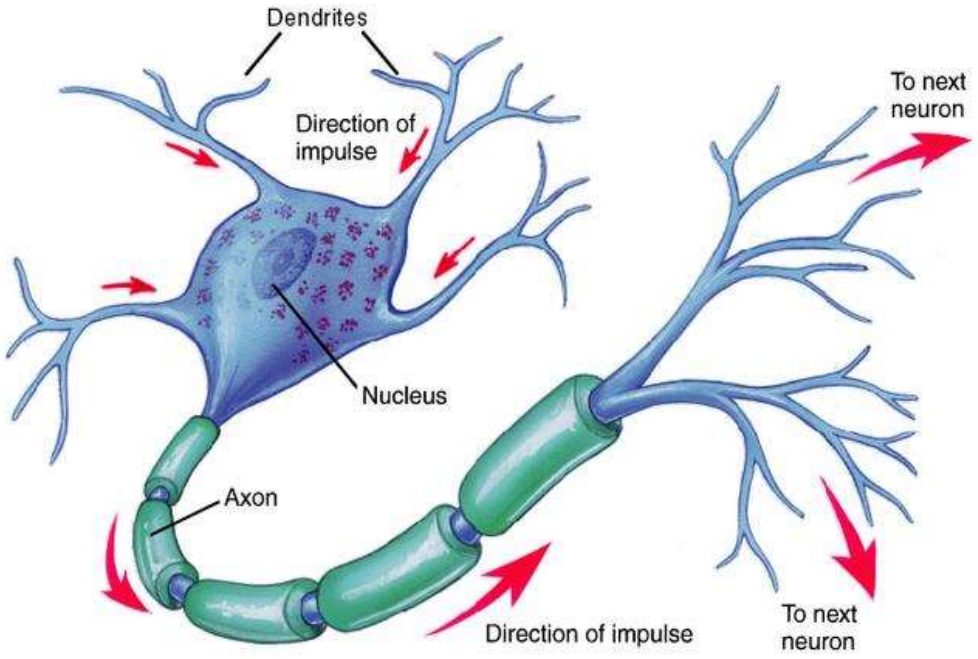


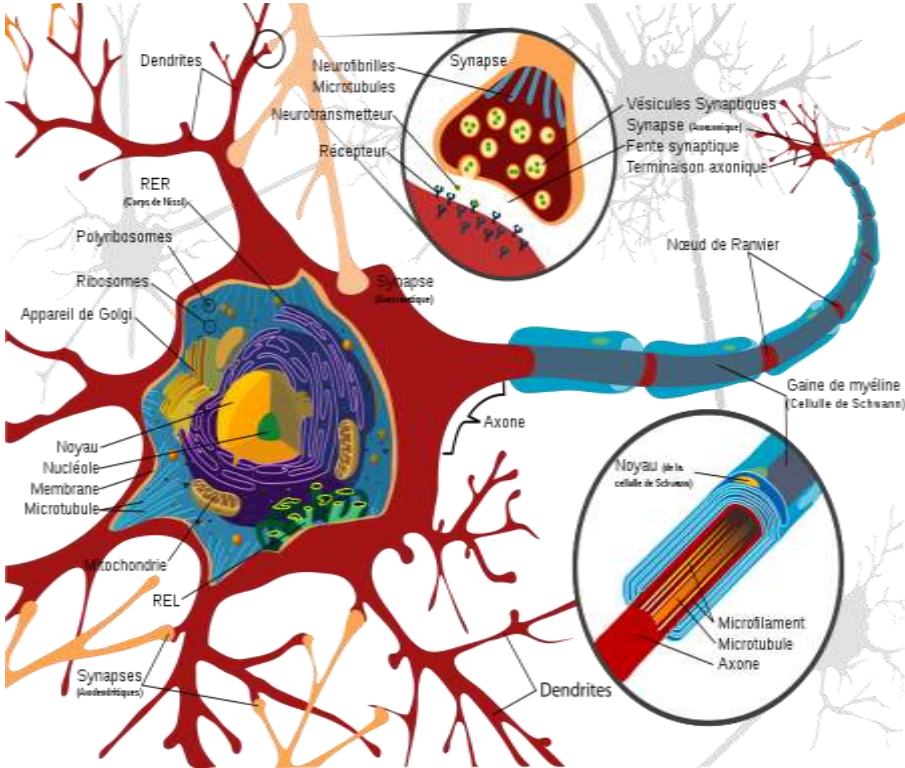
1- بنية ووظيفة الجهاز العصبي

1-1 العصبونات

الخلايا، أو الالياف العصبية تسمى العصبونات حيث يتكون العصبون من:

- ✓الجسم الخلوي
- ✓الزوائد أو التشعبات
- ✓المحور





2-1 السيالة العصبية

السيالة العصبية هي ظاهرة كهربائية. و هي إشارة تنتقل من القريب إلى القريب، من عصبون إلى أخر، لتصل في النهاية إلى عضو نهائي، أو عنصر من الجهاز العصبي المركزي، تخطيطيا يمكن أن ندرك أن عملية التنبيه العصبي الذي يجري في العصبون مثل الكهرباء الذي يسري في الخيوط الكهربائية للمنزل.

1-2-1 كمون الراحة الغشائي

الغشاء الخلوي للعصبون في حالة الراحة يعبر عن مقر الفرق في الكمون بين الداخل و الخارج. عند وضع أقطاب الفولط متر داخل الخلية نلاحظ أن توزيع الحمولات الكهربائية (الايونات) على طرفي الغشاء الخلوي يعطي فرق في الكمون قدره -70 ملي فولط، حيث يكون داخل الغشاء سلبي مقارنة بالخارج. عند مراقبة تركيز أيونات الصوديوم و البوتاسيوم داخل الليف و خارجه نلاحظ أن هذه الايونات تتوزع توزيعا غير متساوي بين داخل الليف و خارجه.

- شوارد Na^+ توجد بتركيز كبير خارج الليف و بتركيز قليل بالداخل.
- شوارد K^+ توجد بتركيز كبير داخل الليف و بتركيز قليل خارجه.

هذا الفرق في التركيز في الايونات هو المسؤول عن كمون الراحة الغشائي.

2-2-1 زوال الاستقطاب و فرط زوال الاستقطاب.

في حالة ما إذا يصبح داخل الخلية أقل سلبية مقارنة بالخارج الفرق في الكمون عن طريق الغشاء ينخفض حيث يصبح اقل استقطابا. زوال الاستقطاب ينتج في كل مرة إذا كان الفرق في الحمولات الكهربائية أقل من – 70ملي فولط و يقترب من الصفر. نتيجة للتنبيه يتولد زوال الاستقطاب سريع على مستوى المنطقة المنبهة وهذا راجع للتغيير الحاصل في توزيع الايونات عند طرفي الغشاء الخلوي، حيث تنفتح قناة الصوديوم ويتم دخول سريع لشوارد الصوديوم Na^+ بينما تبقى قنوات البوتاسيوم مغلقة.

عندما يستمر تدفق شوارد Na^+ ينعكس الاستقطاب في المنطقة المنبهة، أي تصبح شحنة السطح الداخلي موجبة مقارنة مع شحنة السطح الخارجي فتنغلق قنوات الصوديوم وتفتح قنوات البوتاسيوم المرتبطة بالفولطية و يحدث انتشار لشوارد البوتاسيوم إلى الخارج مؤديا إلى عودة تدريجية لاستقطاب الغشاء.

يحدث فرط الاستقطاب نتيجة لتأخر انغلاق قنوات البوتاسيوم المرتبطة بالفولطية، لكن تدخل مضخة الصوديوم و البوتاسيوم الفعال سرعان ما يؤدي إلى إرجاع تراكيز الايونات إلى نسبتها الأصلية و بالتالي تثبيت حالة استقطاب الغشاء.

3-2-1 الكمون المتدرج

يرجع الكمون المتدرج نتيجة للتغيرات المحلية في الكمون الغشائي. حيث يبدأ من الاستقطاب وصولا إلى فرط الاستقطاب، الكمون المتدرج يحدث بسبب التغيرات المحيطية المحلية على مستوى العصبون و هو عامة ظاهرة محلية بينما زوال الاستقطاب يمكن أن يستمر و ينتشر بعيدا على طول العصبون.

4-2-1 كمون العمل

يبدأ كمون العمل بزوال الاستقطاب بعد ذلك عودة الاستقطاب حيث يستمر حوالي 1 ملي ثانية، حيث يمكن القول أن كمون الغشاء ينعكس من -70 ملي فولط بزيادة +30 ملي فولط، بعد ذلك العودة إلى قيم الراحة.

حيث أن موجة كمون العمل تبدأ من زوال الاستقطاب ثم عودة الاستقطاب.

5-2-1 انتشار كمون العمل (propagation du potentiel d'action)

❖الغشاء الميليني (la gaine de myléne)

محاور أغلب العصبونات الحركية تحتوي على مادة الميلين، وهي مادة دهنية تعزل الغشاء الخلوي. حيث أن غشاء الميلين لا يكون مستمر بل هو متقطع في مناطق تسمى عقد رانفير. من أجل إنتشار موجة كمون العمل يجب أن تقفز من عقدة إلى أخرى. و هذا ما يسمى بـ (la conduction saltatoire) (التوصيل القفزي).

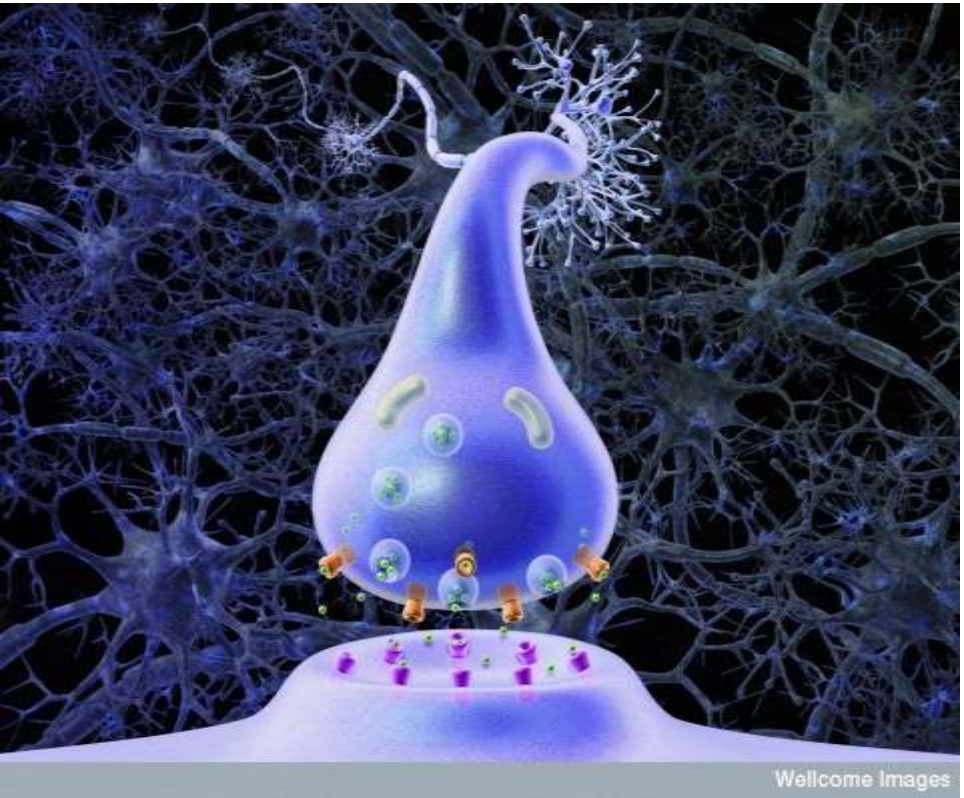
❖سمك المحور (le diamètre de l'axone)

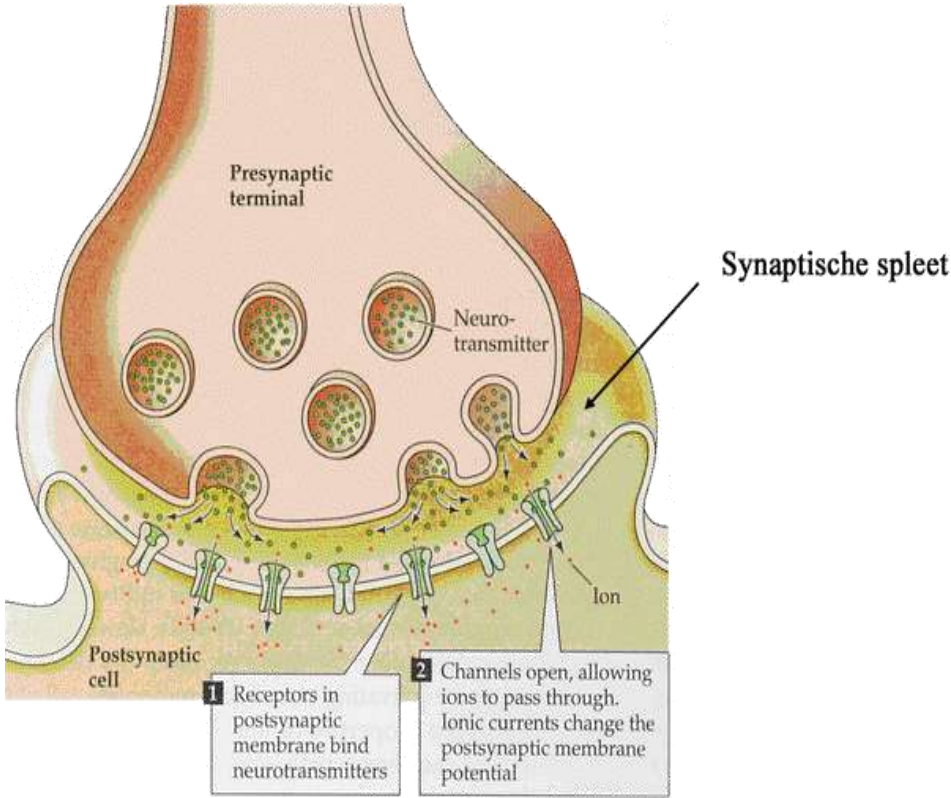
سرعة إنتشار السيالة العصبية ترجع كذلك إلى سمك و عرض المحور. المحاور التي لديها سمك كبير تنتشر من خلالها السيالة العصبية بسرعة مقارنة بالمحور الصغير في السمك.

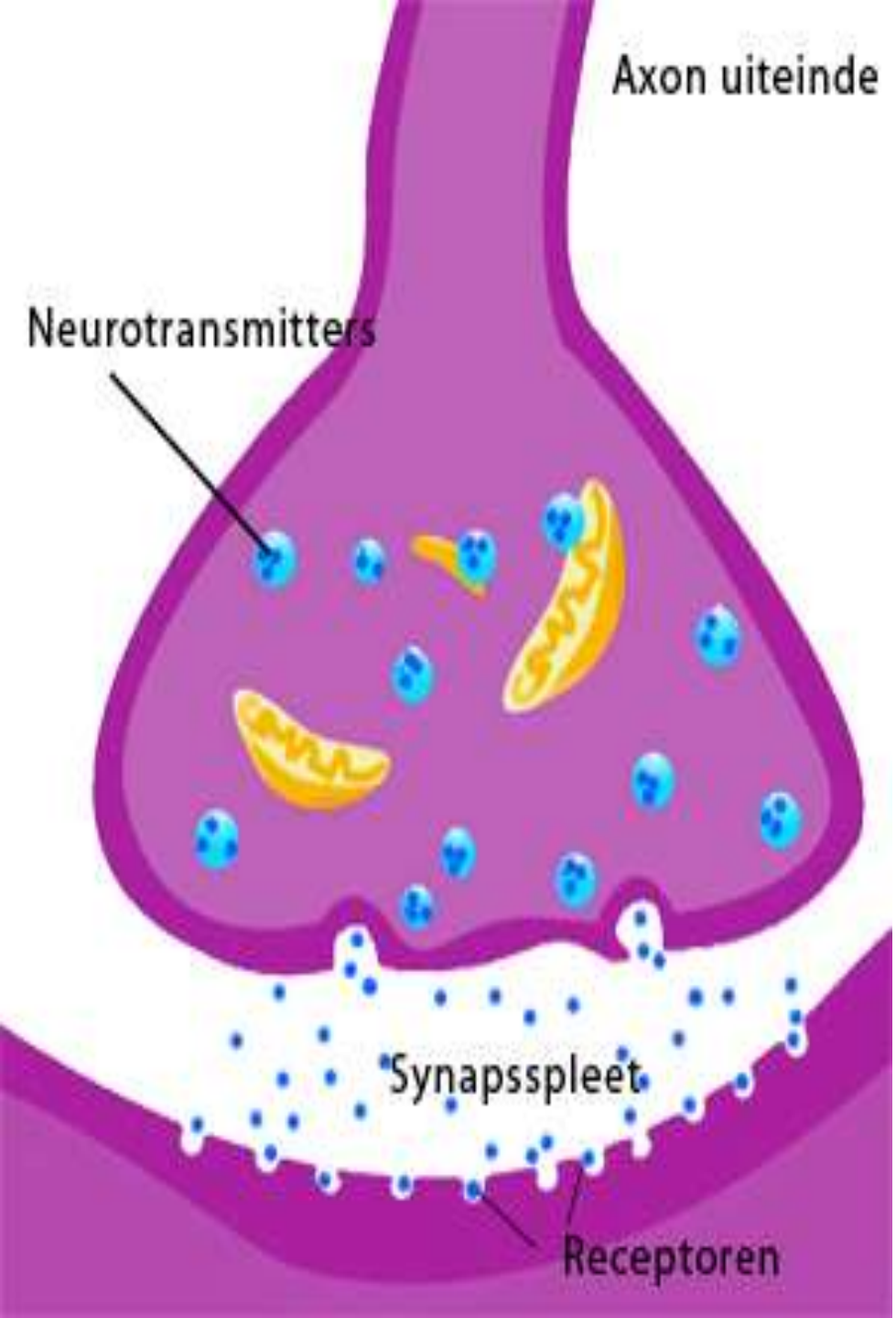
3-1 المشبك (la synapse)

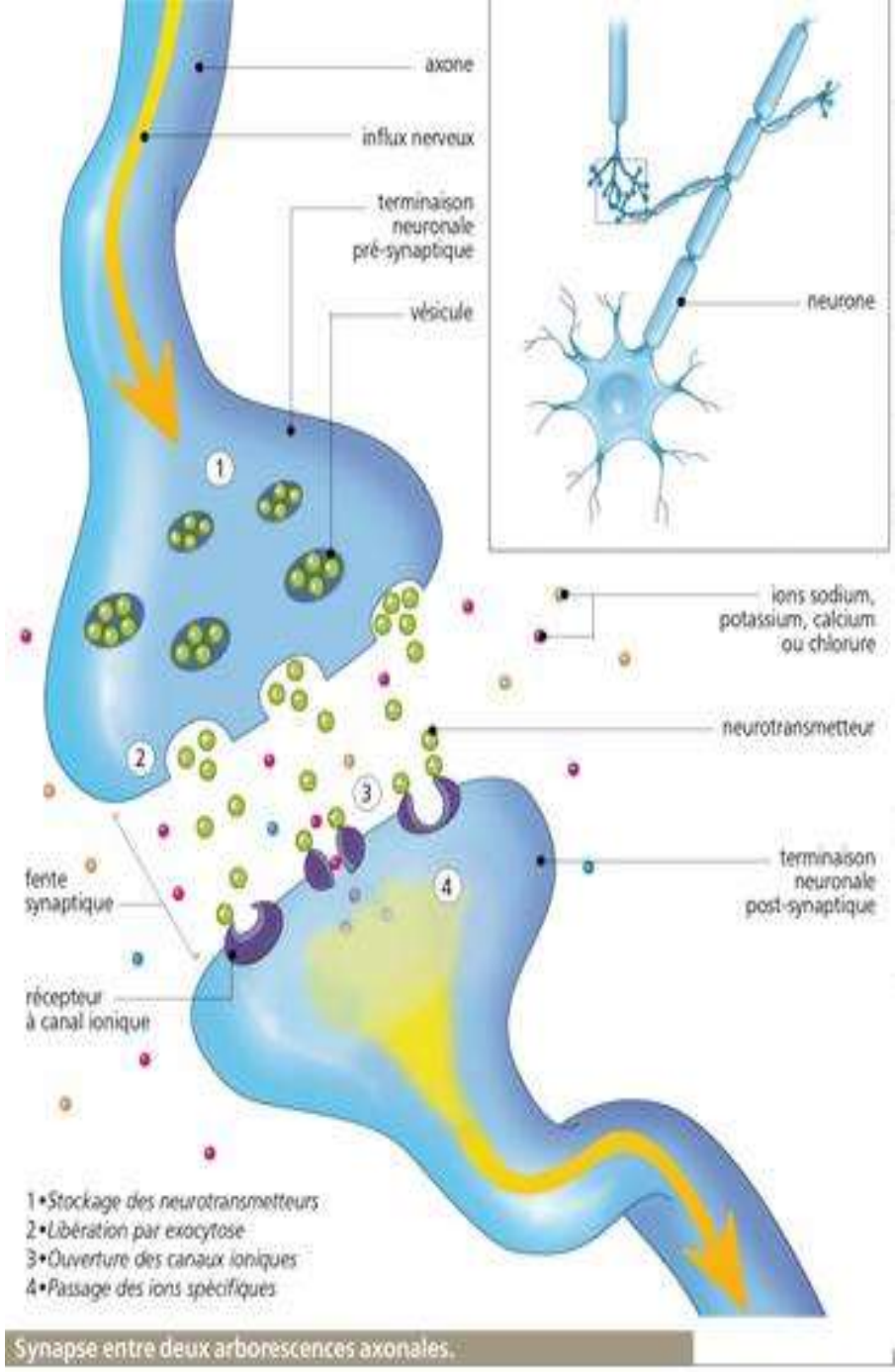
تنتشر السيالة العصبية على طول العصبون و تصل إلى النهايات المحورية. إتصال العصبونات مع بعضها البعض يكون عن طريق وسيط وهو المشبك. حيث أن المشبك بين عصبونين يتكون من:

- المحور النهائي للعصبون الناقل للسيالة العصبية (الغشاء القبل مشبكي).
- المستقبلات الغشائية للعصبون البعدي (الغشاء البعد مشبكي) .
- الفراغ بين العصبونين (الفراغ المشبكي).

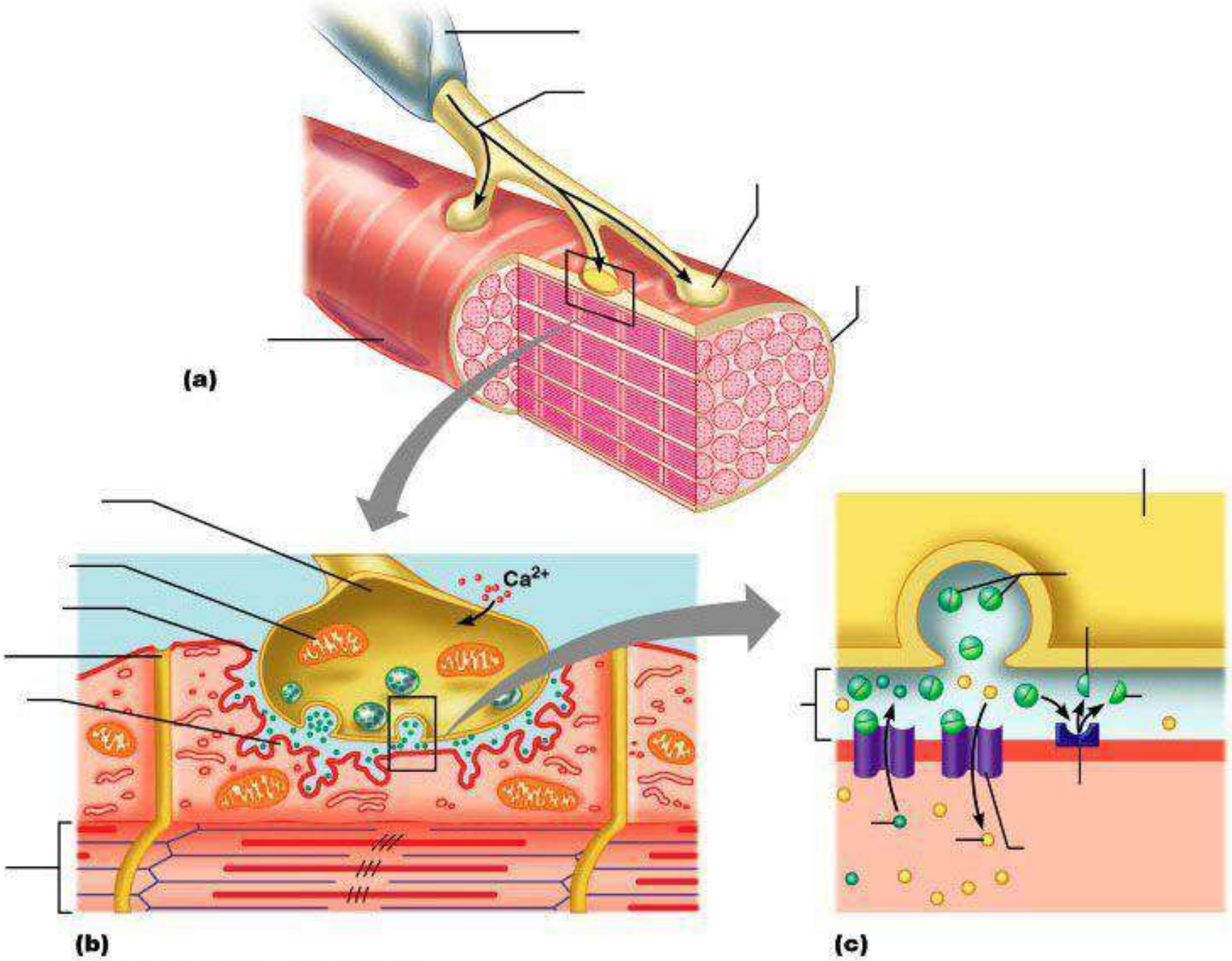








Synapse entre deux arborescences axonales.



Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

4-1 الرابطة العصبية العضلية (la jonction neuromusculaire)

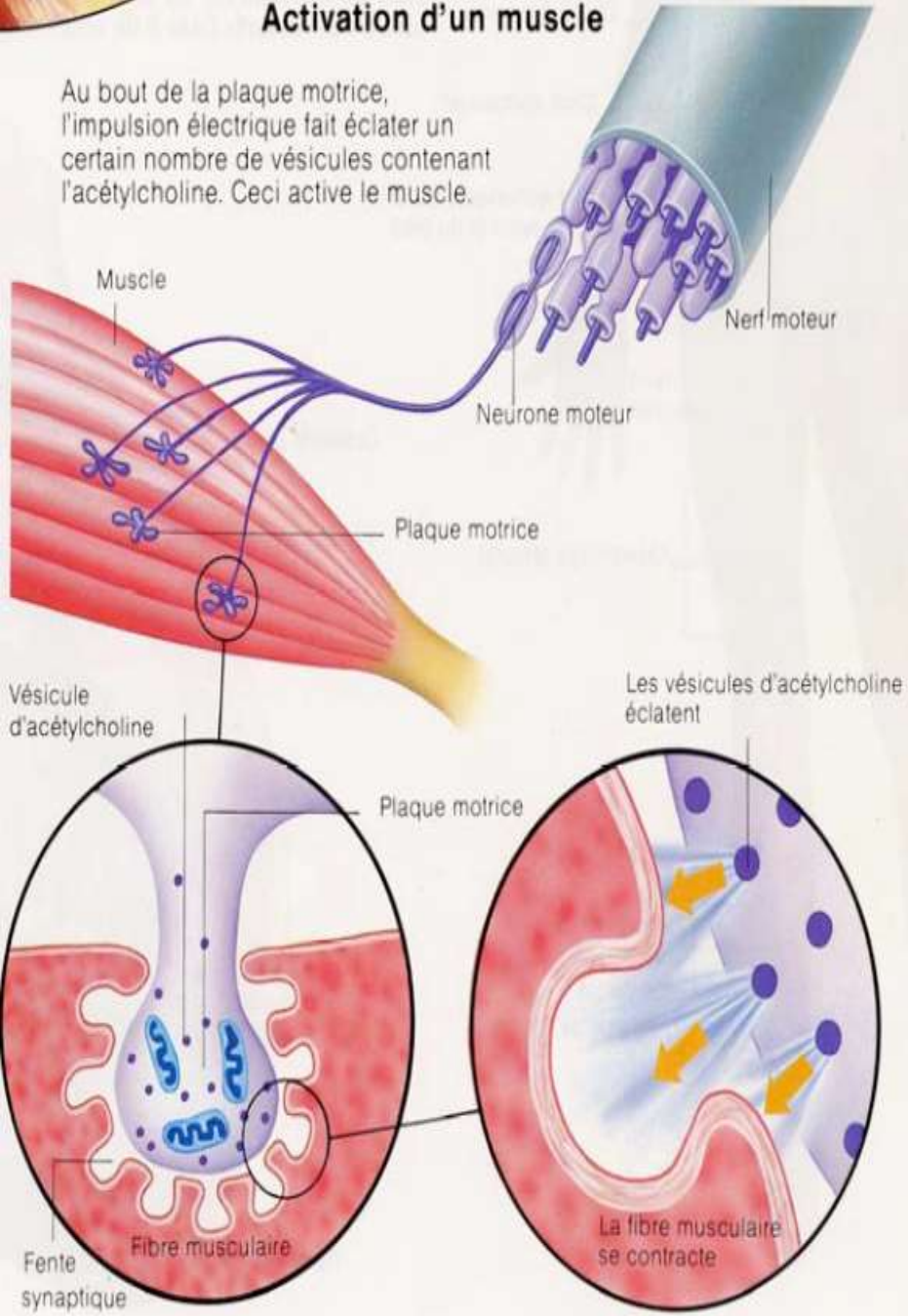
يتصل العصبون الحركي مع الليف العضلي في منطقة تسمى الرابطة العصبية العضلية.
حيث تعمل هذه المنطقة مثل المشبك، محور العصبون الحركي ينتهي بعدة تفرعات مشكلة اللوحة المحركة (plaque motrice).

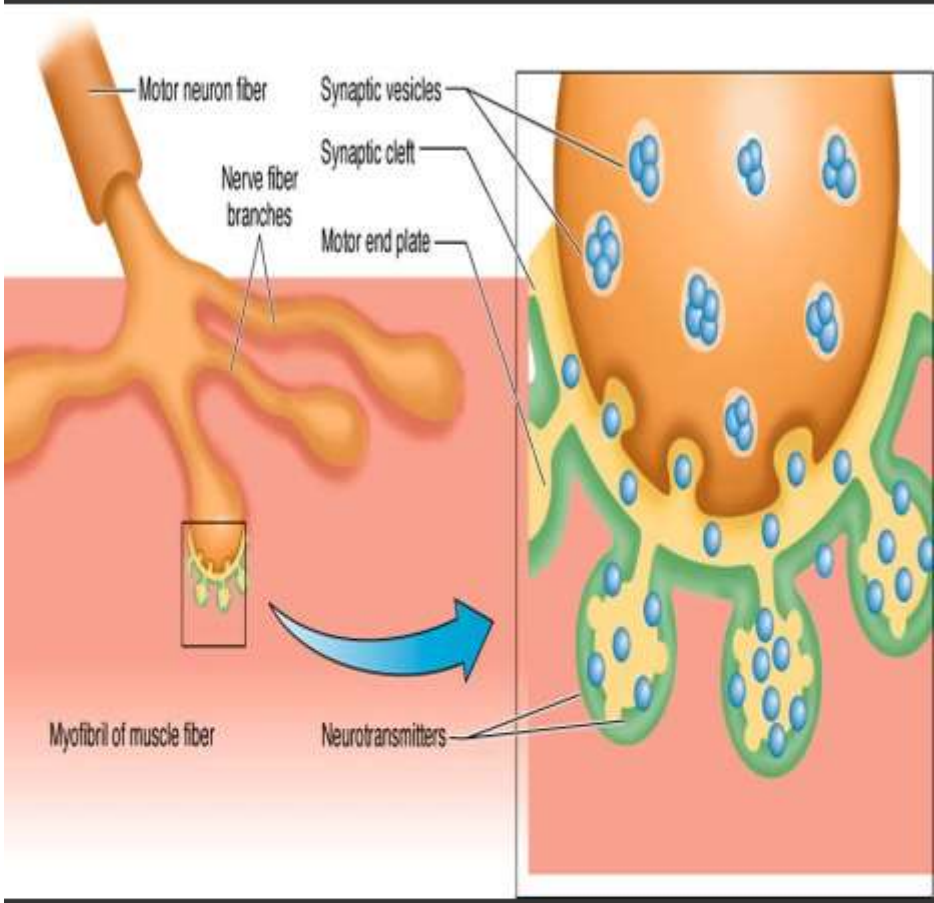
5-1 الوسائط الناقلة les neurotransmetteurs

أكثر من 50 نوع من الوسائط الناقلة تم إحصائها، اغلبها عبارة عن جزيئات صغيرة لديها حركة سريعة (a)، بينما الانواع الأخرى عبارة عن بيبتيدات عصبية تتدخل و تعمل ببطئ (b) .
حيث يعتبر كل من الاستيل كولين و النورادرينالين من الوسائط الناقلة الرئيسية التي تتدخل في الاستجابة الفزيولوجية عند التمرينات.

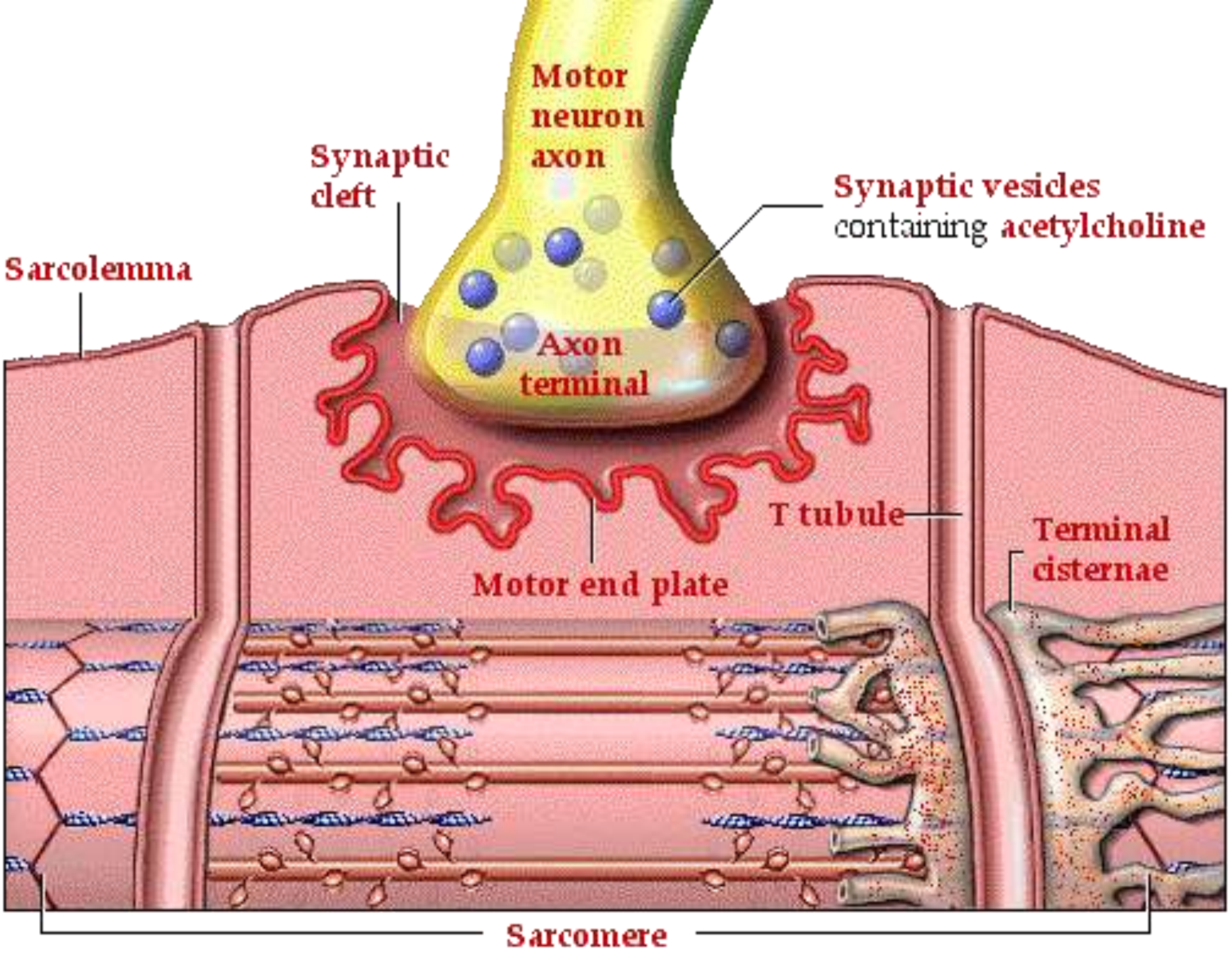
Activation d'un muscle

Au bout de la plaque motrice, l'impulsion électrique fait éclater un certain nombre de vésicules contenant l'acétylcholine. Ceci active le muscle.





Dépolarisation de la fibre musculaire et production d'un PA → libération d'ACh au niveau de la plaque motrice


Motor neuron axon
Synaptic cleft
Synaptic vesicles containing acetylcholine
Sarcolemma
Axon terminal
T tubule
Terminal cisternae
Motor end plate
Sarcomere

6-1 الاستجابة البعد مشبكية la réponse postsynaptique

تثبيت الوسيط الناقل ينتج عنه كمون متدرج على مستوى الغشاء البعد مشبكي. التنبيه الذي يصل إلى الغشاء قد يكون لديه تأثير تحفيزي أو تثبيطي، التنبيه التحفيزي ينتج عنه موجة زوال الاستقطاب و هذا ما يسمى بكمون العمل البعد مشبكي التحفيزي (PPSE).
التنبيه التثبيطي ينتج عنه فرط في الاستقطاب و هذا ما يسمى بكمون العمل البعد مشبكي التثبيطي (PPSI).

2- الجهاز العصبي المركزي le système nerveux central (SNV)

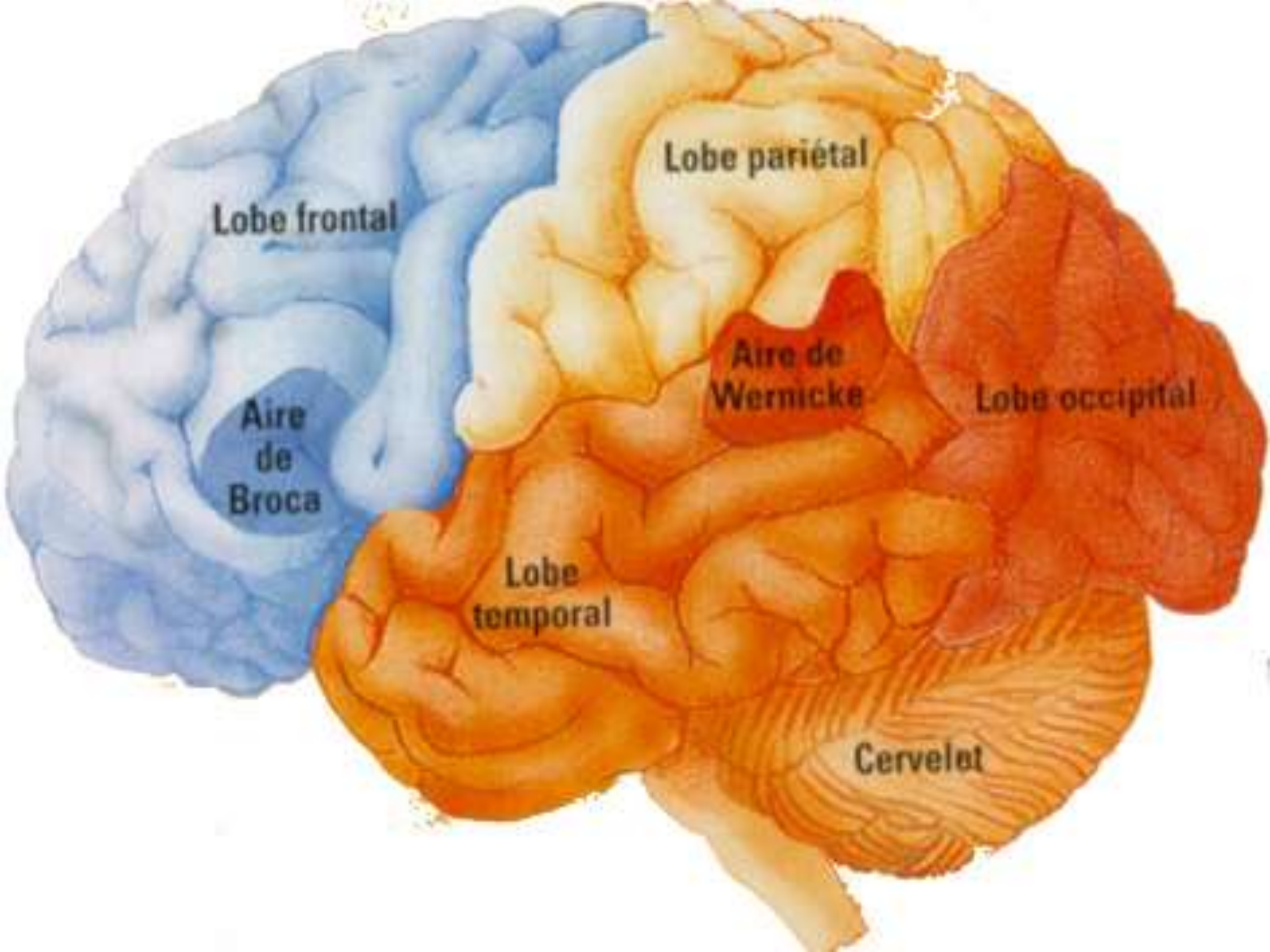
2-1 الدماغ l'encéphale

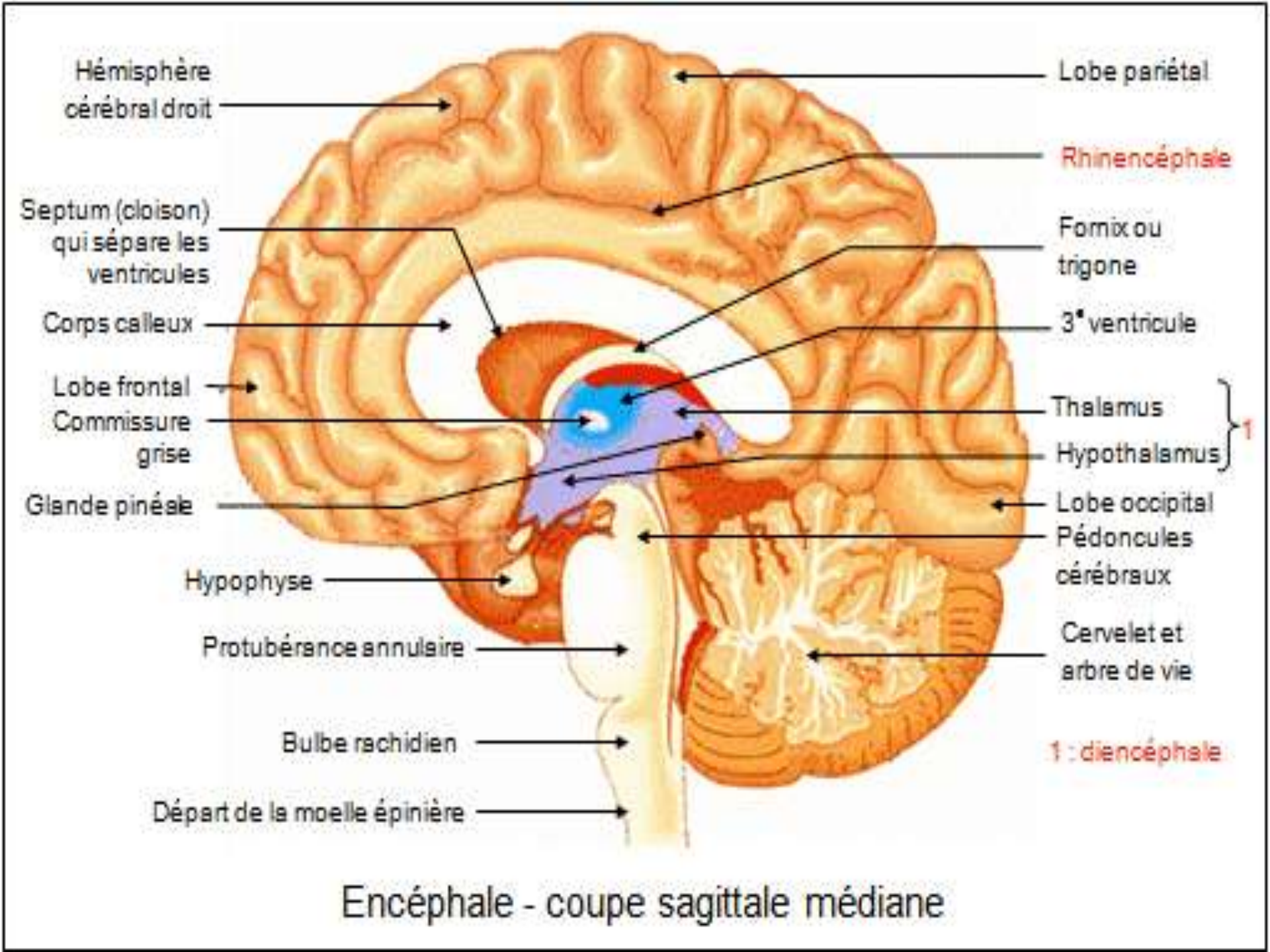
و هو يتكون من أربع مناطق رئيسية هي : المخ، الدماغ المتوسط، المخيخ، و الجدع الدماغي.

❖ المخ le cerveau

المخ يتكون من خمسة فصوص و هي أربع فصوص خارجية و فص مركزي :

- الفص الجبهي le lobe frontal : وهو متعلق بالوظائف الحيوية و المراقبة الحركية les fonctions intellectuelles et le contrôle moteur.
- الفص الصدغي Le lobe temporel: خاص بالوظائف السمعية les fonctions auditives.
- الفص الجداري Le lobe pariétal : خاص بالوظائف الحسية les fonctions sensitives.
- الفص الصدغي Le lobe occipital: خاص بالوظائف البصرية les fonction visuelles.


Lobe frontal
Lobe pariétal
Aire de Wernicke
Lobe occipital
Aire de Broca
Lobe temporal
Cervelet



Encéphale - coupe sagittale médiane

❖Le diencéphale الدماغ المتوسط

هذه المنطقة من المخ تتكون رئيسيا من منطقة المهاد و تحت المهاد (thalamus et l'hypothalamus)، منطقة المهاد تنظم المعلومات الحسية التي تصل إلى المخ و تلعب دورا مهما في المراقبة الحركية.

منطقة ما تحت المهاد(l'hypothalamus) مسئولة عن المحافظة و بقاء التوازن الداخلي (homéostasie). حيث تنظم جميع الآليات التي تتدخل في الوسط الداخلي.

المراكز العصبية تنظم:

- الضغط الشرياني ، النبض القلبي و التقلص العضلي القلبي ، التنفس، الهضم.
- درجة الحرارة الجسمية.
- مراقبة الإفراز العصبي الداخلي.
- الأحاسيس.

❖المخيخ le cervelet

له علاقة مع عدة مناطق من المخ ، حيث يلعب دورا رئيسيا في مراقبة الحركة.

❖الجدع الدماغي Le tronc cérébrale

الجدع الدماغي يتكون من دماغ وسيط mésencéphale ، الحدبة الحلقية la protubérance ou pont، وو البصلة السيسائية bulbe rachidien. حيث تضمن الربط بين المخ و النخاع الشوكي، جميع الأعصاب الحركية و الحسية تقطع هذه المنطقة، الجدع الدماغي يحتوي على اغلب المراكز التنظيمية للجهاز العصبي الذاتي حيث يضمن مراقبة الجهاز التنفسي، القلبي الوعائي. كما يسمح الجدع الدماغي بالوظائف التالية:

- ❑تنسيق الوظائف العضلية الهيكلية.
- ❑المحافظة على الشكل العضلي.
- ❑مراقبة وظائف الجهاز القلبي الوعائي و التنفسي.
- ❑تحديد حالة الوعي (النوم ، إستقاض).

2-2 النخاع الشوكي la moelle épinière

الجزء السفلي من الجدع الدماغي، البصلة السيسائية، يمتد عن طريق النخاع الشوكي، و هو يتكون من الألياف العصبية التي تضمن توصيل السيالة العصبية عند كلا الاتجاهين.

3- الجهاز العصبي المحيطي le système nerveux périphérique (SNP)

الجهاز العصبي المحيطي يتكون من 43 زوج من الأعصاب ، 12 زوج من الأعصاب الدماغية الموجودة في الدماغ المتوسط، و 31 زوج من الأعصاب الشوكية التي لها علاقة بالنخاع الشوكي.

1-3 المسارات الحسية Les voies sensitives

المسارات الحسية للجهاز العصبي المحيطي تنقل المعلومات نحو الجهاز العصبي المركزي، و تحفز مختلف أجزاء الجسم مثل:

- الاوعية الدموية و اللمفاوية.
- الأعضاء الداخلية.
- أعضاء الحس (الذوق، اللمس، السمع، الشم، البصر).
- البشرة
- العضلات و الاوتار.

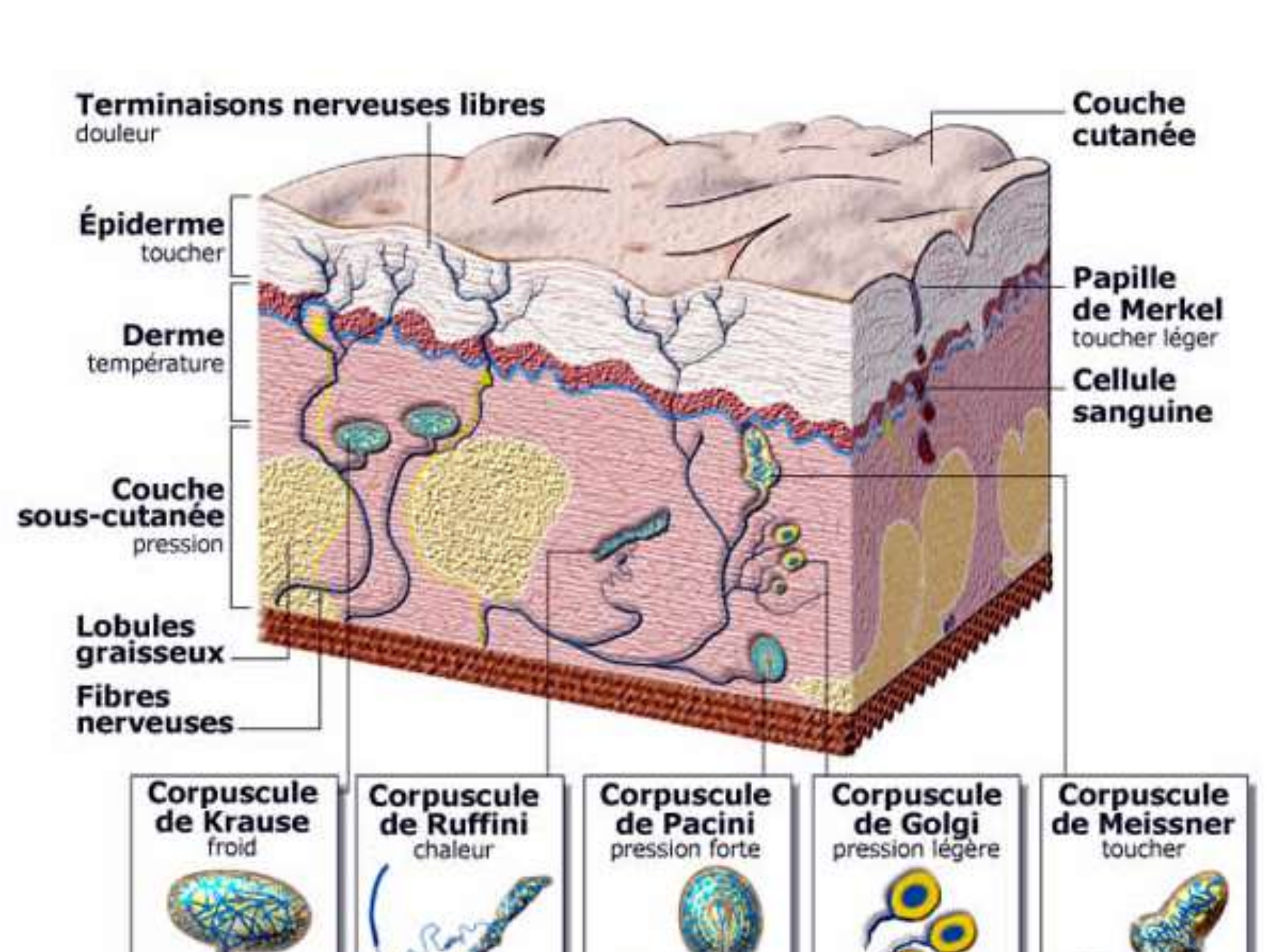
المراكز الحسية تستقبل معلومات المستقبلات و هي توجد في خمسة أنواع رئيسية هي:

- المستقبلات الميكانيكية mécanorécepteurs: التي تستجيب للاستخدامات الميكانيكية وهي القوة ، الضغط، اللمس، التمدد.
- المستقبلات الحرارية Les thermorégulation: التي تستجيب للتغيرات في الحرارة.
- المستقبلات الحساسة للألم les nocicepteurs: تستجيب للتنبيهات الألم.

- المستقبلات الحساسة للضوء Les photosensibles : الحساسة للضوء من أجل السماح بالرؤية.
- المستقبلات الكيميائية les chémorécepteurs: التي تستجيب للتنبيهات الكيميائية التي تحصل بسبب المواد الغذائية او التحولات في تركيز الدم (الأكسجين، غاز الكربون، الغلوكوز...الخ).

النهايات العصبية الحسية التي تحفز العضلات و المفاصل تكون بأنواع مختلفة و تقوم بوظائف متعددة و مهمة مثل :

- المستقبلات الحسية الحركية les récepteurs kinesthésique : وهي تتواجد في المفاصل حساسة للتغيرات في السرعة المفصلية. حيث تعلم حول وضعية حركات المفاصل.
- الأحزمة العصبية العضلية Les fuseaux neuromusculaires: التي تكتشف جميع التمددات في العضلة.
- أعضاء كولجي الوترية Les organes tendineuse de golgi : وهي حساسة للتوترات المطبقة من طرف العضلات على الأوتار، حيث تعلم بالتغيرات في قوة تقلص العضلات.


Terminaisons nerveuses libres
douleur
Couche cutanée
Épiderme
toucher
Derme
température
Papille de Merkel
toucher léger
Cellule sanguine
Couche sous-cutanée
pression
Lobules graisseux
Fibres nerveuses
Corpuscule de Krause
froid
Corpuscule de Ruffini
chaleur
Corpuscule de Pacini
pression forte
Corpuscule de Golgi
pression légère
Corpuscule de Meissner
toucher

2-3 المسارات الحركية Les voies motrices

الجهاز العصبي المركزي يرسل المعلومات إلى جميع أجزاء الجسم وهذا بفضل المسار الحركي (efférentes) للجهاز العصبي المحيطي. عن طريق المخ و النخاع الشوكي الشبكة المعقدة للعصبونات التي تتوزع في جميع أنحاء الجسم تنقل الإشارات نحو جميع أنحاء الجسم بطريقة مختارة و مناسبة .

3-3 الجهاز العصبي الذاتي le système nerveux autonome

الجهاز العصبي الذاتي (autonome ou végétatif) يعتبر جزء من المسار الحركي للجهاز العصبي المحيطي. حيث يراقب جميع الوظائف الداخلية اللاشعورية للجسم، مثل النبض القلبي، الضغط الشرياني، توزيع الكتلة الدموية، التنفس. كما ينقسم الجهاز العصبي الذاتي إلى جزئين كبيرين هما: الجهاز العصبي السمبثاوي و البراسمبثاوي.

❖الجهاز العصبي السمبثاويLe système nerveux sympathique

تأثير التحفيز السمبثاوي يعتبر مهم لدى الرياضيين حيث يظهر ذلك في

- ❑ الرفع من النبض القلبي و قوة التقلص القلبي
- ❑توسيع الأوعية الدموية التاجية و بالتالي زيادة مستوى التدفق التاجي .
- ❑توسيع الأوعية الدموية على مستوى العضلات من أجل نقل كميات معتبرة من الدم إلى العضلات النشطة.
- ❑الرفع من الضغط الشرياني مما يحسن من تدفق الدم العضلي و الرجوع الوريدي.
- ❑تضييق الأوعية الدموية في مواقع أخرى و هذا يسمح بتوزيع الكتلة الدموية إلى العضلات النشطة .
- ❑توسيع الشعيبات مما يسمح بتسهيل عملية المبادلات الغازية
- ❑الرفع من المستوى الأيضي استجابة لزيادة الاحتياجات.
- ❑تحفيز النشاط العقلي مما يحسن قدرات الإدراك .
- ❑تحرير الكبد للغلوكوز في الدم.
- ❑تحفيز الوظائف الكلوية و الهضمية.

❖الجهاز العصبي البراسمبثاوي Le système nerveux parasympathique

يعتبر الجهاز العصبي الباراسمبثاوي جهاز دفاعي حيث يلعب الأدوار التالية:

- ❑ يلعب دورا رئيسيا في الوظائف الهضمية، الكلوية، الإفراز الغدي، والاحتفاظ بالطاقة.
- ❑يلعب دورا رئيسيا في المحافظة على التوازن الداخلي.
- ❑يؤدي إلى التخفيض من النبض القلبي.
- ❑تضييق الأوعية الدموية التاجية.
- ❑تضييق الشعيبات الرئوية.

4- الإدماج الحسي الحركي l’intégration sensori-motrice

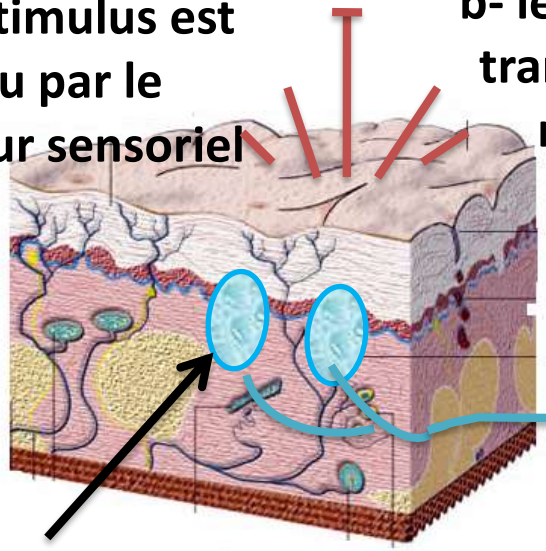
من أجل استجابة الجسم للتنبيه الحسي، المراكز الحسية و الحركية للجهاز العصبي يجب أن تعمل مجتمعة و هذا بالطريقة التالية:

- التنبيه الحسي يستقبل من طرف المستقبلات الحساسة.
- العصبونات الحسية تنقل التنبيه إلى عصبونات الجهاز العصبي المركزي.
- عصبونات الجهاز العصبي المركزي تترجم المعلومات الواصلة وتختار الاستجابة الأكثر ملائمة.
- إستجابة الجهاز العصبي المركزي تنقل في شكل إشارات عن طريق العصبونات الحركية .
- التحكم الحركي ينقل إلى العضلات حيث تأتي الاستجابة.

❖La séquence d'événements de l'intégration sensori-motrice ou arc réflexe

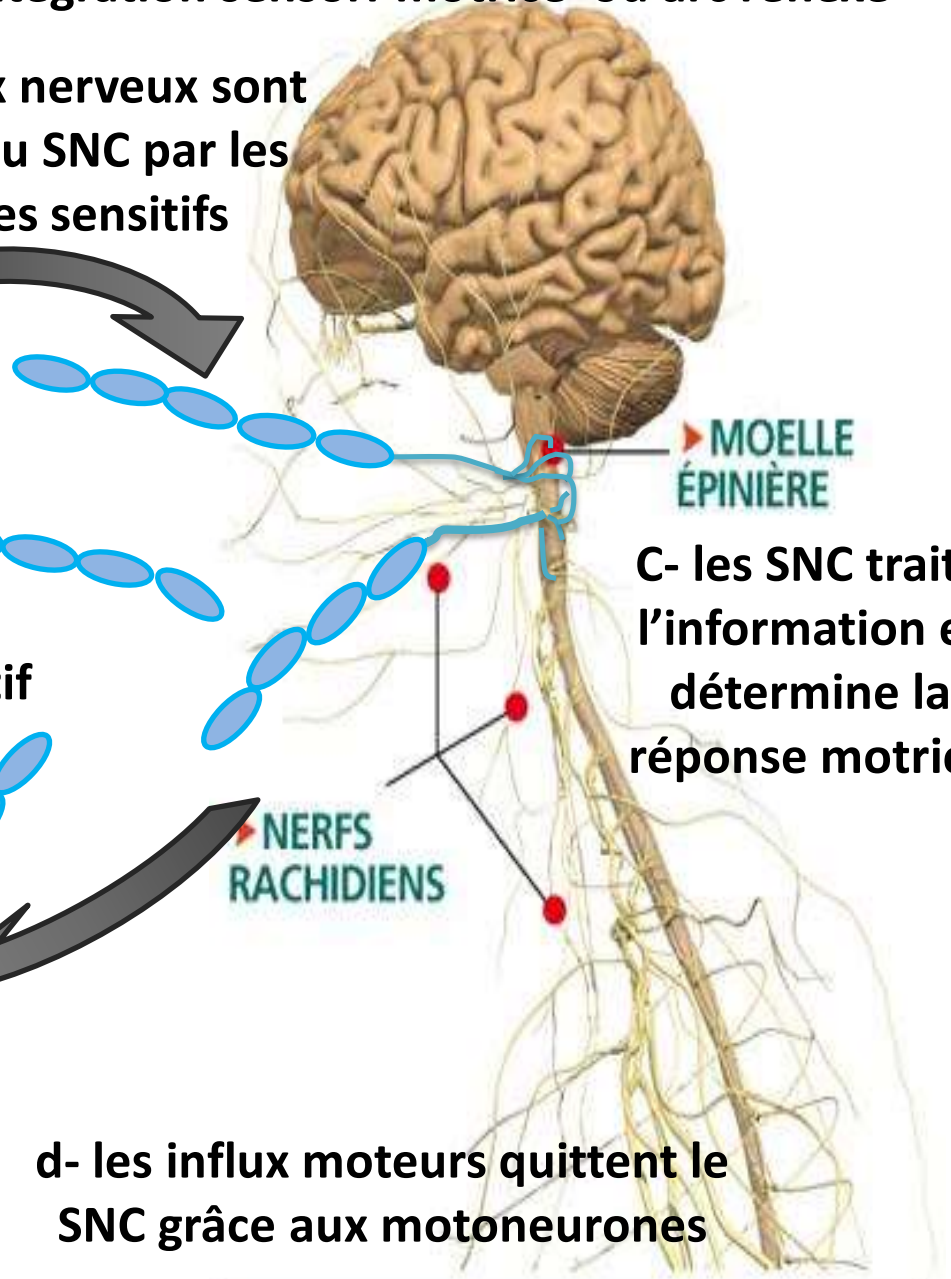
a - Un stimulus est perçu par le récepteur sensoriel

b- les influx nerveux sont transmis au SNC par les neurones sensitifs



récepteur sensoriel

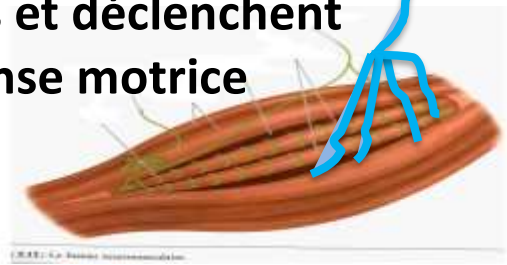
Neurone sensitif



C- les SNC traite l'information et détermine la réponse motrice

d- les influx moteurs quittent le SNC grâce aux motoneurones

e- les influx moteurs atteignent les fibres musculaires et déclenchent la réponse motrice

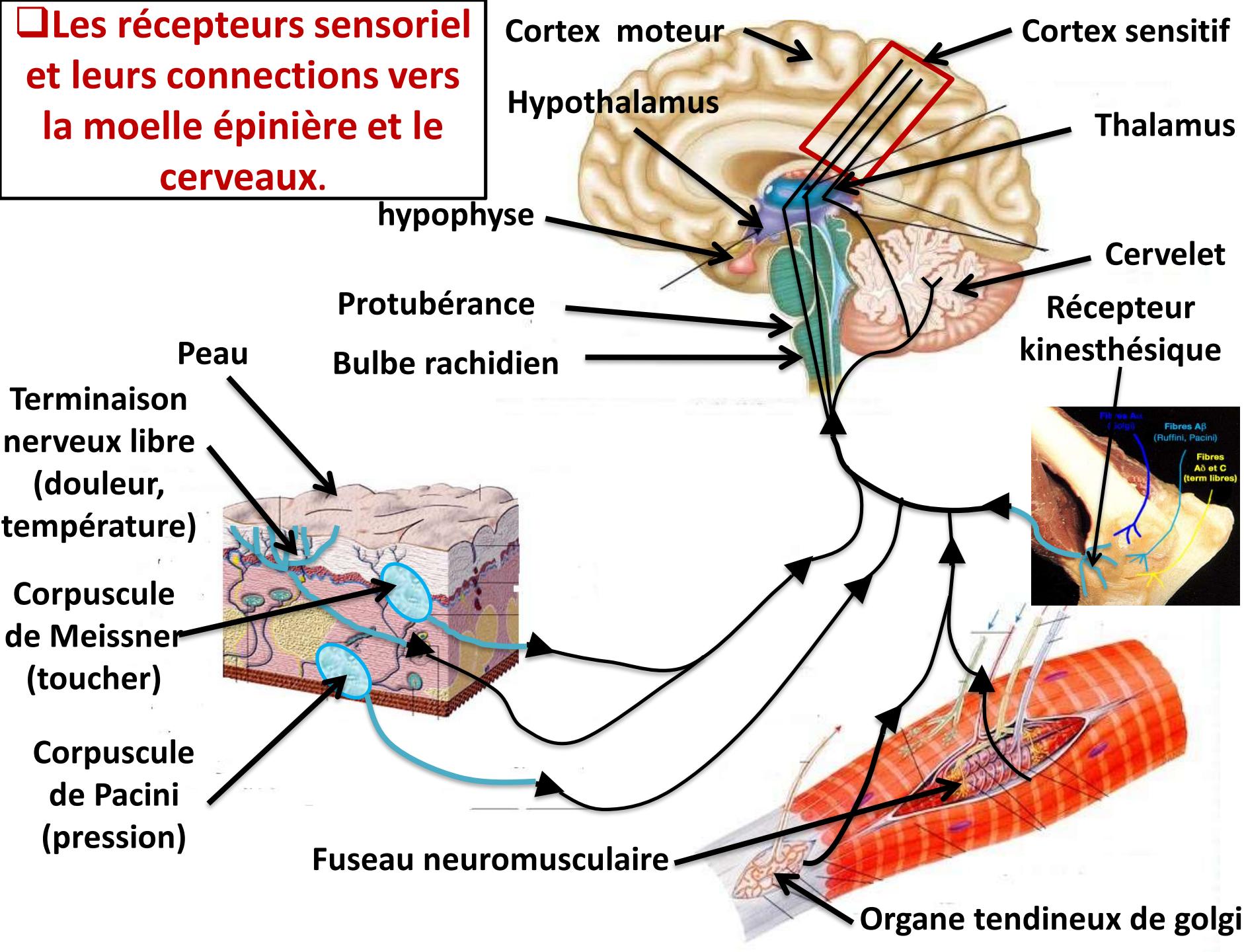


Les nerfs rachidiens sont rattachés à la moelle épinière.

1-4 المعلومات الحسية l’information sensitives

- في حالة وصول التنبيه الحسي إلى النخاع الشوكي، الاستجابة عامة تكون عبارة عن رد فعل حركي بسيط.
- في حالة توقف التنبيه الحسي على مستوى الجدع الدماغي السفلي هذا يؤدي إلى استجابة حركية شبه شعورية. مثل مراقبة الاستقامة في حالة الوقوف و الجلوس.
- في حالة انتهاء التنبيه الحسي على مستوى المخيخ ينتج عن ذلك مراقبة حركية شبه شعورية، حيث يعتبر المخيخ كمركز للتنسيق ويسمح بتنفيذ حركات دقيقة و بدون انقطاع.
- فقط الإشارات الحسية الواصلة إلى منطقة المهاد هي التي تصل إلى حالة الشعور و الوعي.
- في حالة وصول الإشارات إلى قشرة المخ و هي المكان الأصلي للاستقبال، تكون الحركات مدركة، حيث تتواجد قشرة المخ الحسية الأولية في الفص الجداري التي تستقبل المعلومات الحسية القادمة من البشرة، العضلات، الأوتار و المفاصل.

❑Les récepteurs sensoriel et leurs connections vers la moelle épinière et le cerveaux.

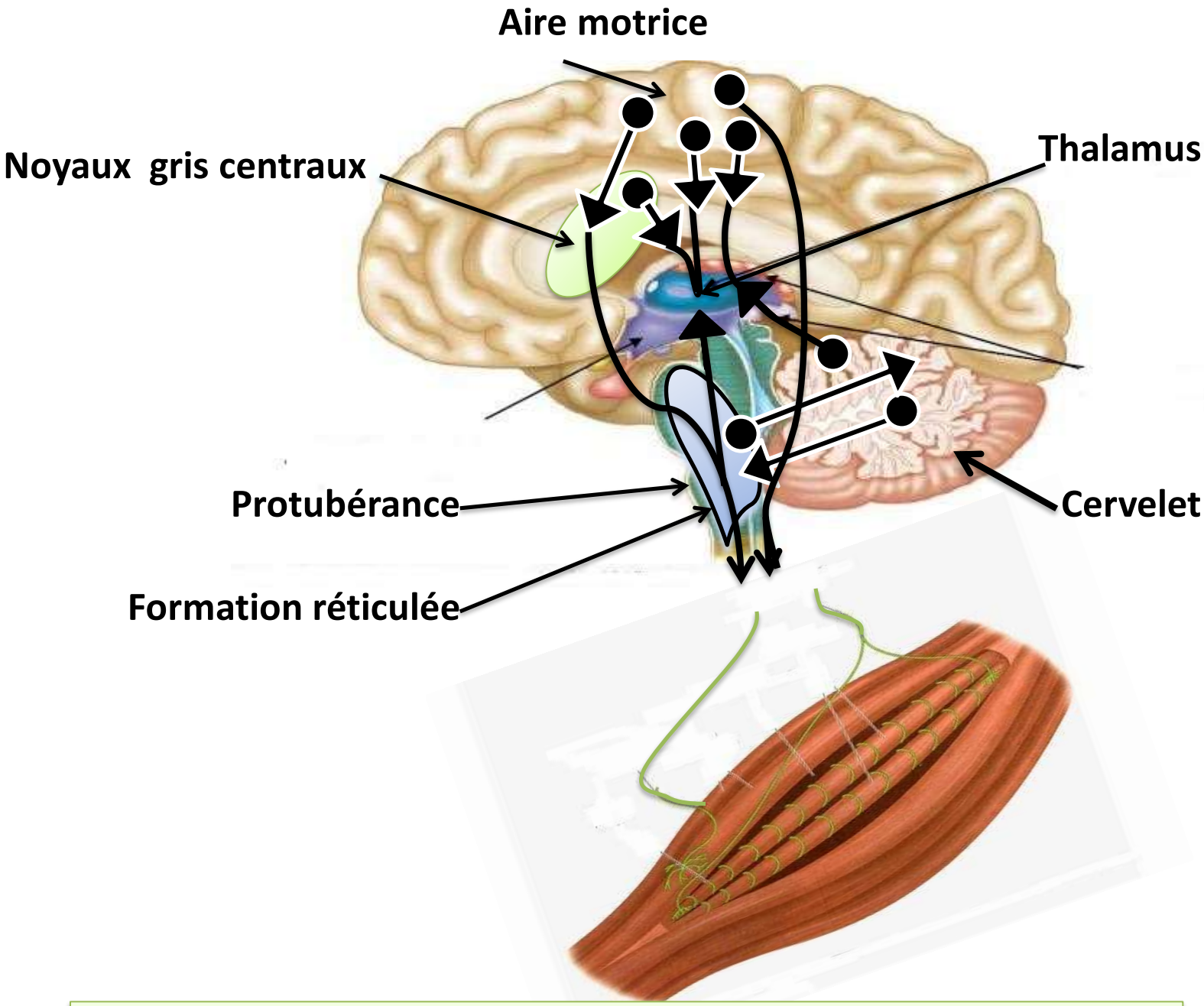


2-4 المراقبة الحركية le contrôle moteur

العضلات الهيكلية تحفز من طرف العصبونات الحركية الموجودة في ثلاث مناطق هي:

- النخاع الشوكي.
- المناطق السفلى من المخ.
- المنطقة الحركية من قشرة المخ.

الاستجابات الحركية للحركة المركبة تأتي أصليا من القشرة الحركية للمخ.



Les voies motrices du système nerveux

4-4 المراكز العصبية العليا les centres nerveux supérieurs

❖القشرة الحركية الاولية les cortex moteur primaire

القشرة الحركية مسؤولة عن مراقبة الحركات الدقيقة و هي توجد في الفص الجبهي، العصبونات الموجودة في هذه المنطقة تسمى الخلايا الهرمية وهي تضمن المراقبة الشعورية لحركات العضلات الهيكلية، الأجسام الخلوية للخلايا الهرمية محتواها موجود في القشرة الحركية الأولية بينما المحاور تشكل المسار الهرمي و هي تسمى المسار القشري الشوكي.

❖الانوية الرمادية المركزية les noyaux gris centraux

الأنوية الرمادية المركزية لا توجد في قشرة المخ بل تشكل منطقة تحت القشرة وسط المادة البيضاء من المخ. و هي تتكون من مجموعة من الأجسام الخلوية. و هي تلعب دورا مهما في بداية الحركات الآلية و المكررة (مثل حركات التوازن، الحركات المركبة النصف إرادية مثل المشي و الجري) ، كما تساهم أيضا في المحافظة على الوقوف و الشكل العضلي.

❖ le cervelet المخيخ

يعتبر المخيخ رئيسيا في مراقبة كل الحركات السريعة و النشاطات العضلية المركبة . حيث يساهم كذلك في تنسيق ريتم و تسلسل النشاطات الحركية، و تسجيل و تصحيح النشاطات الحركية المبرمجة في جميع أنحاء المخ. المخيخ يساعد قشرة المخ الأولية و الأنوية الرمادية المركزية بمسح الحركات المتقطعة و المشوشة .

4-5البرامج الحركية les programmes moteurs

التعاليم الحركية الخاصة يتم تخزينها في المخ من أجل إعادة استعمالها في حالة الاحتياج إليها. هذه المخططات تخزن و تعرف باسم البرنامج الحركي، حيث تخزن المعلومات في المساحات الحسية و الحركية من المخ، المخطط الحركي البطئ يخزن في المساحة الحسية بينما الحركات السريعة تخزن في المساحة الحركية.

3-4 النشاط الانعكاسي l'activité réflexe

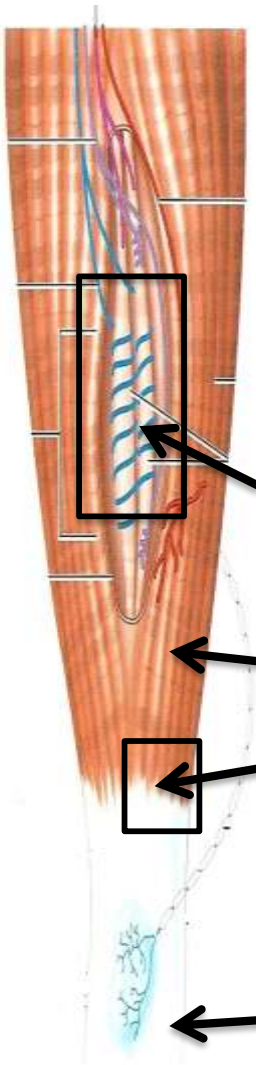
❖الأحزمة العصبية العضلية les fuseaux neuromusculaire

الأحزمة العصبية العضلية ، موجودة داخل العضلات الهيكلية و هي بالتوازي مع الألياف العضلية ، حيث تتكون الحزمة العصبية العضلية من من 4 إلى 20 ليف صغير خاص يسمى مابين الحزم و نهايات عصبية حسية و حركية تشترك في هذه الألياف .

❖ les organes tendineux de golgi

ألياف كولجي الوترية هي مستقبلات حسية مغلفة تقطع من طرف بعض الألياف الوترية، هذه الأعضاء موجودة في المحيط القريب من الأوتار ، حوالي 5 إلى 25 ليف مرتبط و هي حساسة للتوترات الناتجة من طرف العضلات و الأوتار. وهو جهاز لتسجيل التغيرات في التوترات .

Corps du muscle (a) ; un fuseau neuromusculaire (b); et un organe tendineux de golgi (c)



Fibres extra-fusales

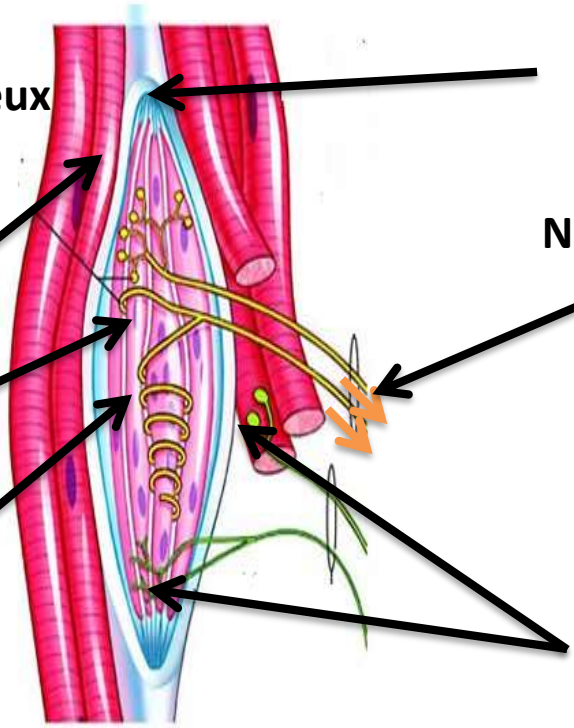
Fibres intra -fusales

Région centrale sans myofibrille

Fuseau neuromusculaire

Fibres extra-fusales

Tendon



Gaine conjonctive

Neurone sensitif vers les centres nerveux supérieurs

Motoneurone gamma du système nerveux central