

Chapitre 6 : Capteurs de biopotentiels

6.1 Introduction

1

Les mesures de biopotentiels sont effectuées en utilisant différents types d'électrodes spécialisées. La fonction de ces électrodes est de coupler les potentiels ioniques générés à l'intérieur du corps à un instrument électronique. Les électrodes de biopotentiels sont classées soit comme non invasives (surface de la peau) ou invasives (par exemple, des microélectrodes ou électrodes à fil).

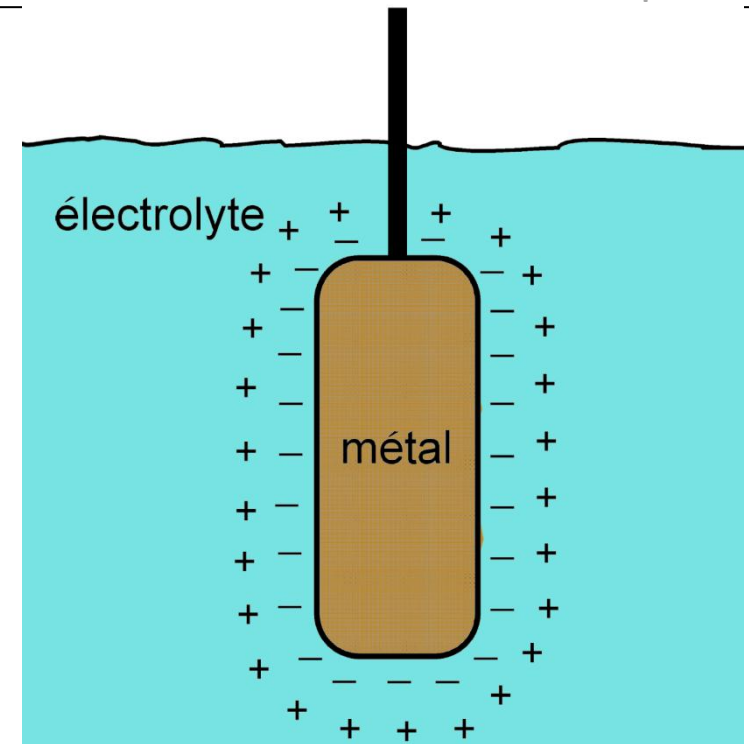
6.2.1 L'Interface électrolyte/électrode métallique

Lorsqu'un métal est placé dans un électrolyte (ex. une solution ionisable), une distribution de charge est créée à côté de l'interface métal/électrolyte (**Fig. 6.1**). Cette répartition de charge localisée provoque un potentiel électrique, appelé potentiel de demi-cellule, qui se crée à travers l'interface entre la solution électrolytique et le métal.

Les potentiels de demi-cellule de plusieurs métaux importants sont listés dans le

Tab. 6.1. A noter que l'électrode d'hydrogène est considéré comme étant l'électrode de référence par rapport auquel, les potentiels de demi-cellule des autres électrodes métalliques sont mesurés.

Figure 6.1 – Distribution des charges à l'interface électrolyte/métal.



| Métal primaire | et | Réaction chimique | Potentiel de demi-cellule |
|----------------------|----|----------------------------------|---------------------------|
| Al | → | $\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^{-}$ | -1.706 |
| Cr | → | $\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^{-}$ | -0.744 |
| Cd | → | $\text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^{-}$ | -0.401 |
| Zn | → | $\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^{-}$ | -0.763 |
| Fe | → | $\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^{-}$ | -0.409 |
| Ni | → | $\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^{-}$ | -0.230 |
| Pb | → | $\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^{-}$ | -0.126 |
| H ₂ | → | $2\text{H}^{+} + 2\text{e}^{-}$ | 0.000 (Référence) |
| Ag | → | $\text{Ag}^{+} + \text{e}^{-}$ | +0.799 |
| Au | → | $\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^{-}$ | +1.420 |
| Cu | → | $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-}$ | +0.340 |
| Ag + Cl ⁻ | → | $\text{AgCl} + 2\text{e}^{-}$ | +0.223 |

Tableau 6.1 – Potentiels de demi-cellule des principaux métaux.

■ Exemple 1 :

Des électrodes d'argent et de zinc sont immergées dans une solution d'électrolyte. Calculer la différence de potentiel entre ces deux électrodes.

Solution :

D'après le **Tab. 6.1**, les potentiels de demi-cellules pour les électrodes d'argent et de zinc sont 0,799 et -0,763 V, respectivement. Par conséquent, la différence de potentiel entre ces deux électrodes métalliques est égale à : $0,799 - (-0,763) = 1,562 \text{ V}$

■ Typiquement, les mesures de biopotentiel sont réalisées à l'aide de deux électrodes similaires composées du même métal. Par conséquent, les deux potentiels de demi-cellule de ces électrodes seront identiques en amplitude.

Par exemple, deux électrodes de biopotentiel similaires peuvent être collées à la poitrine près du cœur pour mesurer les potentiels électriques générés par le cœur (électrocardiogramme, ou ECG).

Idéalement, en supposant que les interfaces entre la peau et les électrodes sont identiques électriquement, l'amplificateur différentiel relié à ces deux électrodes va amplifier le biopotentiel du signal ECG, mais les potentiels de demi-cellules vont ainsi s'annuler.

■ Exemple 2 :

Des électrodes d'argent et d'aluminium sont placées dans une solution d'électrolyte. Calculer le courant qui va circuler à travers les électrodes de la résistance équivalente de la solution égale à $2 \text{ k}\Omega$.

Solution :

$$0,799 - (-1,706) = 2,505 \text{ V}$$

$$2,505 \text{ V} = 2\text{k}\Omega / 1,252 \text{ mA}$$

6.2.2. Electrodes ECG

Des exemples de différents types d'électrodes de biopotentiel non invasives utilisées essentiellement pour l'enregistrement de l'ECG sont présentés sur la **Fig. 6.2**.

Une électrode de biopotentiel souple typique pour l'enregistrement d'ECG est composée de certains types de polymères ou d'élastomères qui sont rendus électriquement conducteur par addition d'une fine poudre de carbone ou de métal. Ces électrodes (**Fig. 6.2a**) sont disponibles avec un gel AgCl préencollé (prégélifiée) pour une application rapide et facile à la peau en utilisant un ruban adhésif double-face (**Fig. 6.4**).

Le type le plus commun d'électrode de biopotentiel est l'électrode dite "flottante" argent/chlorure d'argent (Ag/AgCl), qui est formée par le dépôt électrochimique d'une très fine couche de chlorure d'argent sur une électrode d'argent (**Fig. 6.2b** et 6.5). Ces électrodes sont encastrées et empâtées dans de la mousse qui a été trempée avec une pâte d'électrolyte pour assurer un bon contact électrique avec la peau. La mousse d'électrolyte saturée est également connue pour réduire les artefacts de mouvement qui peuvent être produites, par exemple, lors des essais de contrainte, lorsque la couche de la peau se déplace par rapport à la surface de l'électrode Ag/AgCl. Cet artefact de mouvement pourrait causer de grandes interférences dans le biopotentiel enregistré et, dans des cas extrêmes, pourrait dégrader sérieusement la mesure.

Autre type d'électrodes appelées à disparaître à cause de leur entretien et leur encombrement est la poire à ventouse (**Fig. 6.3**).

La **Fig. 6.6** montre des pinces ECG employées couramment en milieu clinique.

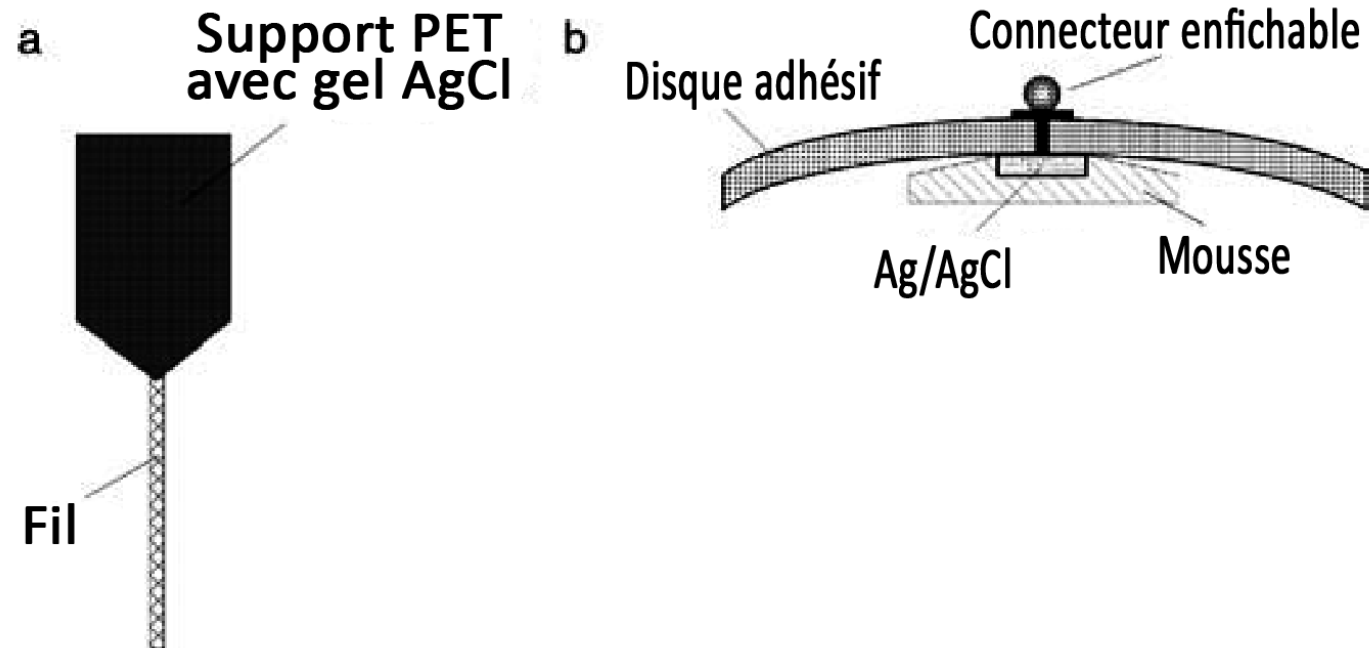


Figure 6.2 – Électrodes de biopotentiel de surface ECG: (a) électrode flexible en Mylar, (b) électrode Ag/AgCl type enfichable.



Figure 6.3 – Électrodes poire à ventouse.

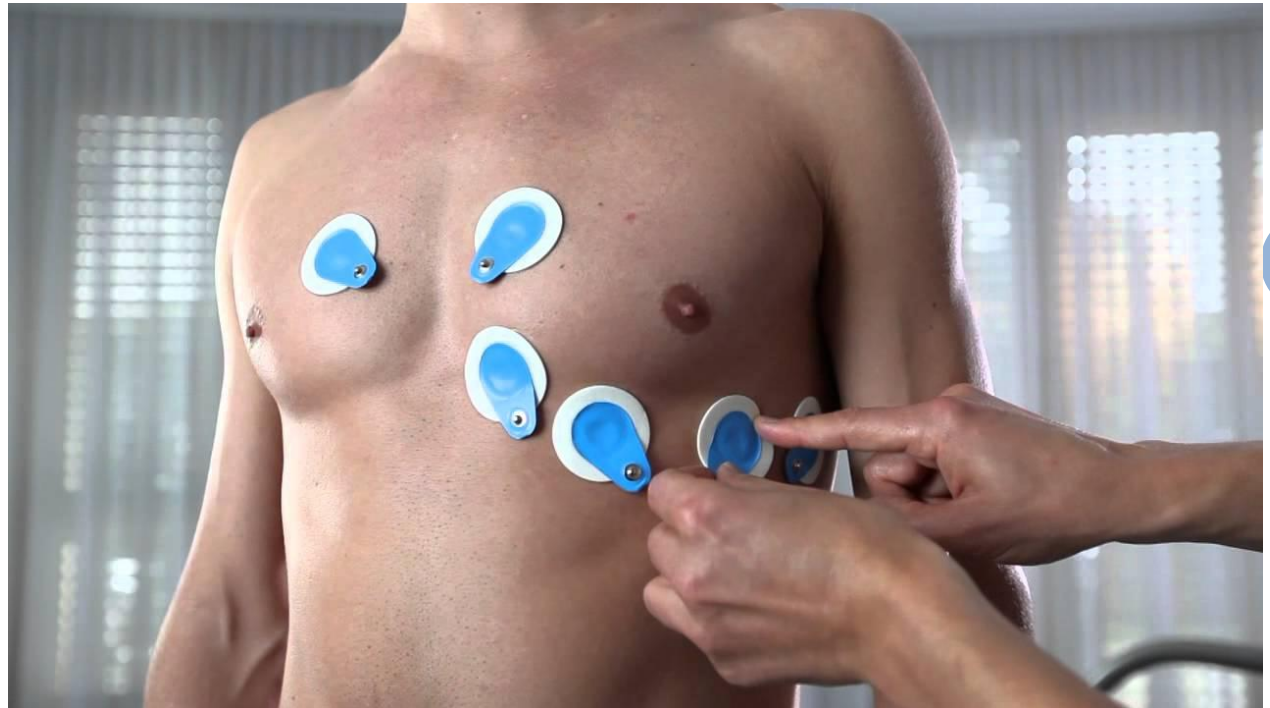
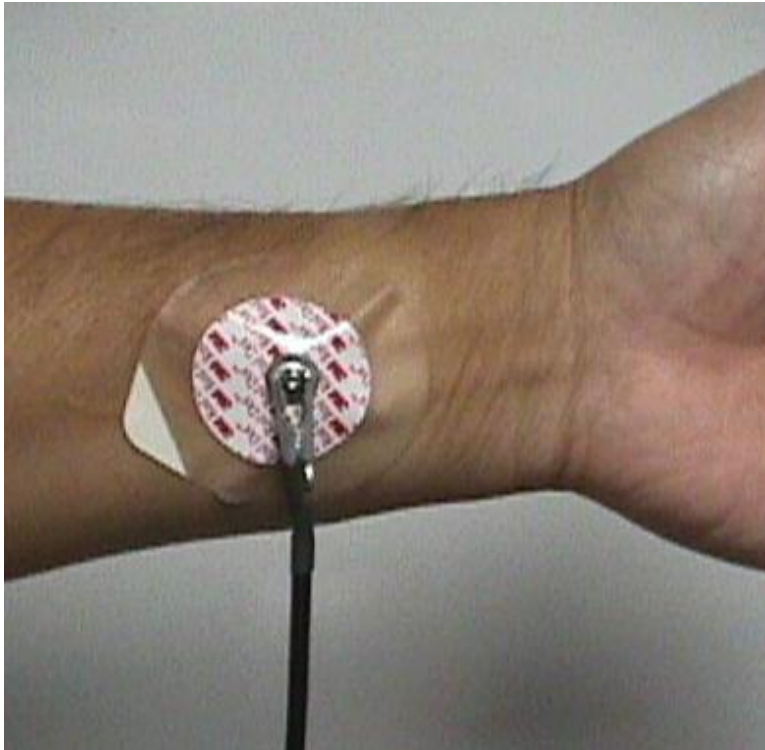


Figure 6.4 – Électrodes jetables pré-gélifiées.

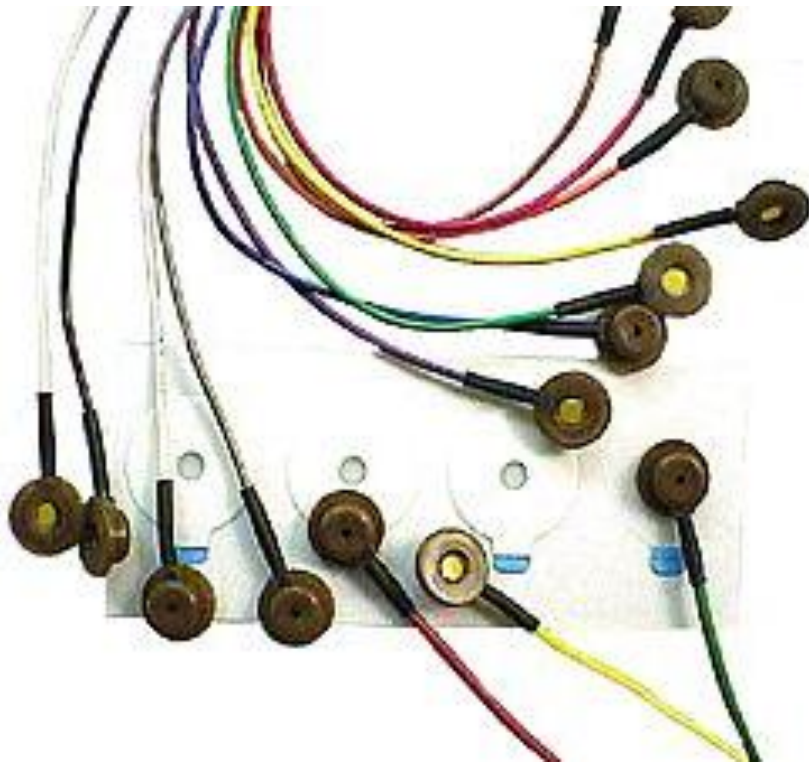


Figure 6.5 – Électrodes flottantes réutilisables.



Figure 6.6 – Pinces ECG.

6.2.3. Electrodes EMG

Différents types d'électrodes de biopotentiel sont utilisées dans l'enregistrement de signaux électromyographiques (EMG) provenant de différents muscles du corps. La forme et l'amplitude des signaux EMG enregistrés dépendent de la propriété électrique de ces électrodes et l'emplacement d'enregistrement. Pour les enregistrements non invasifs, une bonne préparation de la peau, qui, normalement, implique le nettoyage de la peau avec de l'alcool ou de l'application d'une petite quantité d'une

pâte d'électrolyte, contribue à minimiser l'impédance de l'interface peau-électrode et d'améliorer considérablement la qualité du signal enregistré (**Fig. 6.8**).

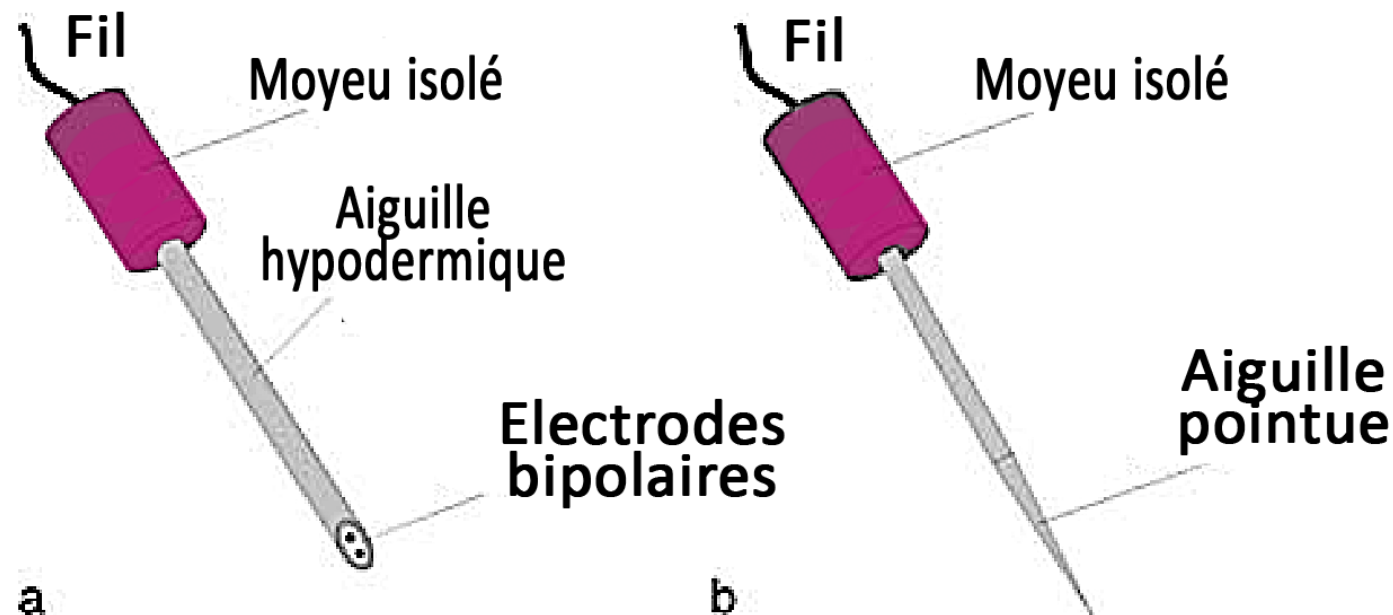


Figure 6.7 – Electrodes de biopotentiel intramusculaires: (a) bipolaire, (b) unipolaire.

Les électrodes les plus couramment utilisées pour les études d'enregistrement EMG de surface et la conduction nerveuse sont des disques circulaires, d'environ 1 cm de diamètre, fabriqués à base d'argent ou de platine. Pour l'enregistrement direct des signaux électriques provenant des nerfs et des muscles des fibres, une variété d'électrodes à aiguille percutanée sont disponibles (**Fig. 6.7** et 6.9).

Le type le plus commun d'électrode à aiguille est l'électrode bipolaire concentrique illustré dans la **Fig. 6.7a**. Cette électrode est faite de minces fils métalliques enfermés à l'intérieur d'une canule plus large ou aiguille hypodermique.

Les deux fils servent à l'enregistrement et comme électrode de référence. Un autre type d'électrodes percutanées EMG est l'électrode à aiguille unipolaires (**Fig. 6.7b**). Cette électrode est faite d'un fil mince qui est la plupart du temps isolé par une mince couche de Téflon, d'environ 0,3 mm près de l'extrémité distale. A la différence d'une électrode bipolaire, cette électrode nécessite une seconde électrode de référence unipolaire pour former un circuit électrique fermé. La seconde électrode d'enregistrement est normalement placée soit adjacente à l'électrode d'enregistrement ou attaché à la surface de la peau.



Figure 6.8 – Electrodes de surface prégélifiées jetables.



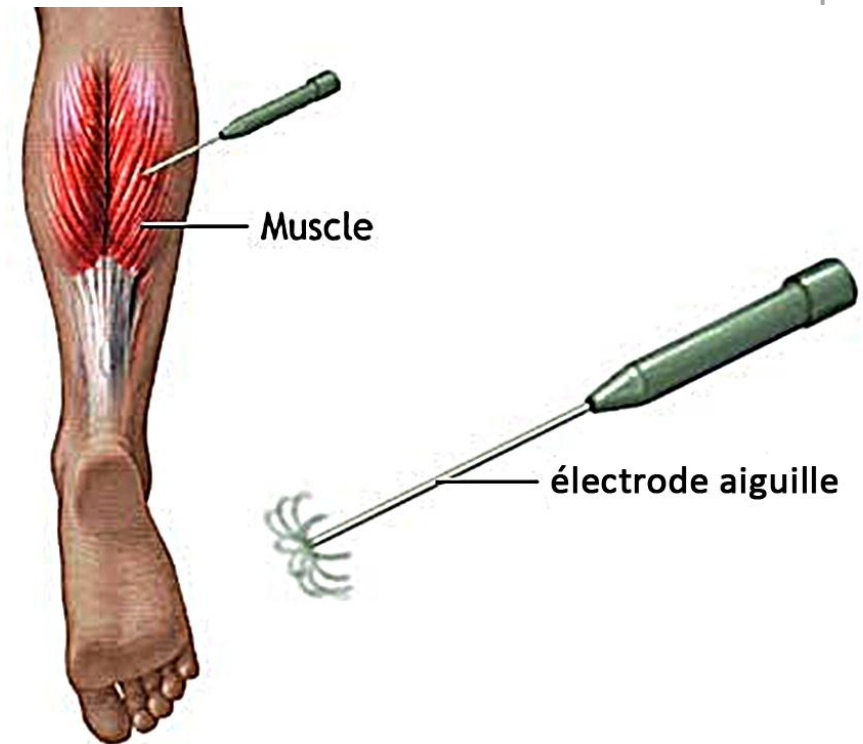
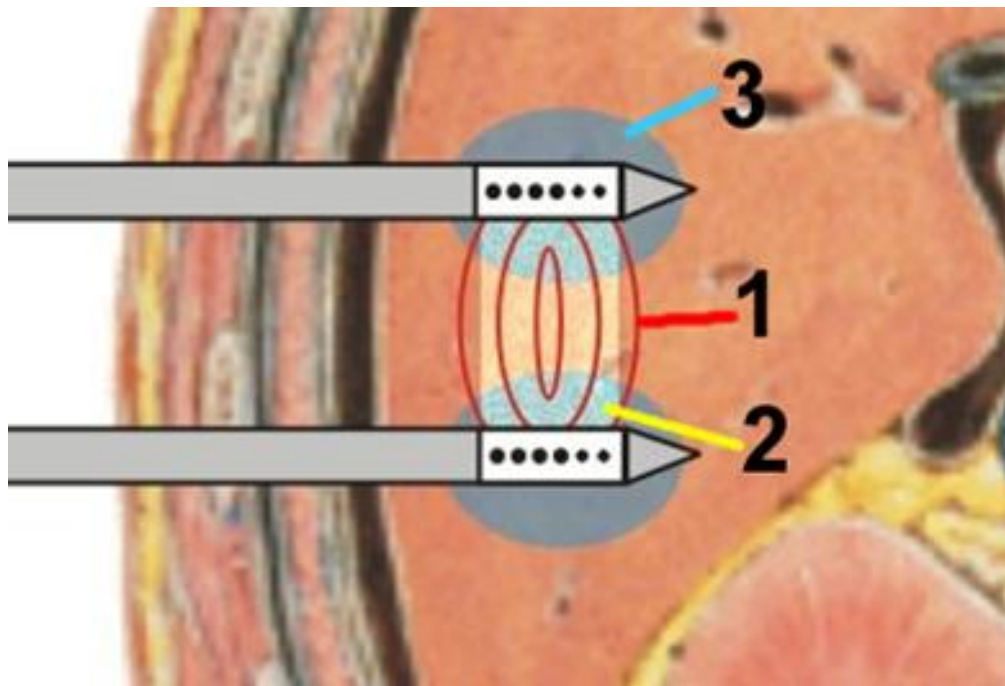


Figure 6.9 – Electrodes aiguilles pour EMG.

6.2.4. Electrodes EEG

Les électrodes les plus couramment utilisés pour l'enregistrement de signaux électroencéphalographiques (EEG) depuis le cerveau sont les électrodes cupules et les électrodes aiguilles hypodermiques. Les électrodes cupules sont constituées de platine ou d'étain et sont d'environ 5 à 10 mm de diamètre.

Ces électrodes cupules sont remplies d'un gel électrolytique conducteur et peuvent être fixées sur le cuir chevelu avec un ruban adhésif.

L'enregistrement des potentiels électriques du cuir chevelu est difficile parce que les cheveux et la peau grasse empêchent un bon contact électrique. Par conséquent, les cliniciens préfèrent parfois utiliser des électrodes EEG sous-dermique au lieu d'électrodes de surface métallique pour l'enregistrement de l'EEG.

13

Ce sont essentiellement des électrodes aiguilles fines de platine ou en acier inoxydable de 10 mm de longueur et 0,5 mm de largeur, qui sont insérées sous la peau pour assurer un meilleur contact électrique (**Fig. 6.10**).

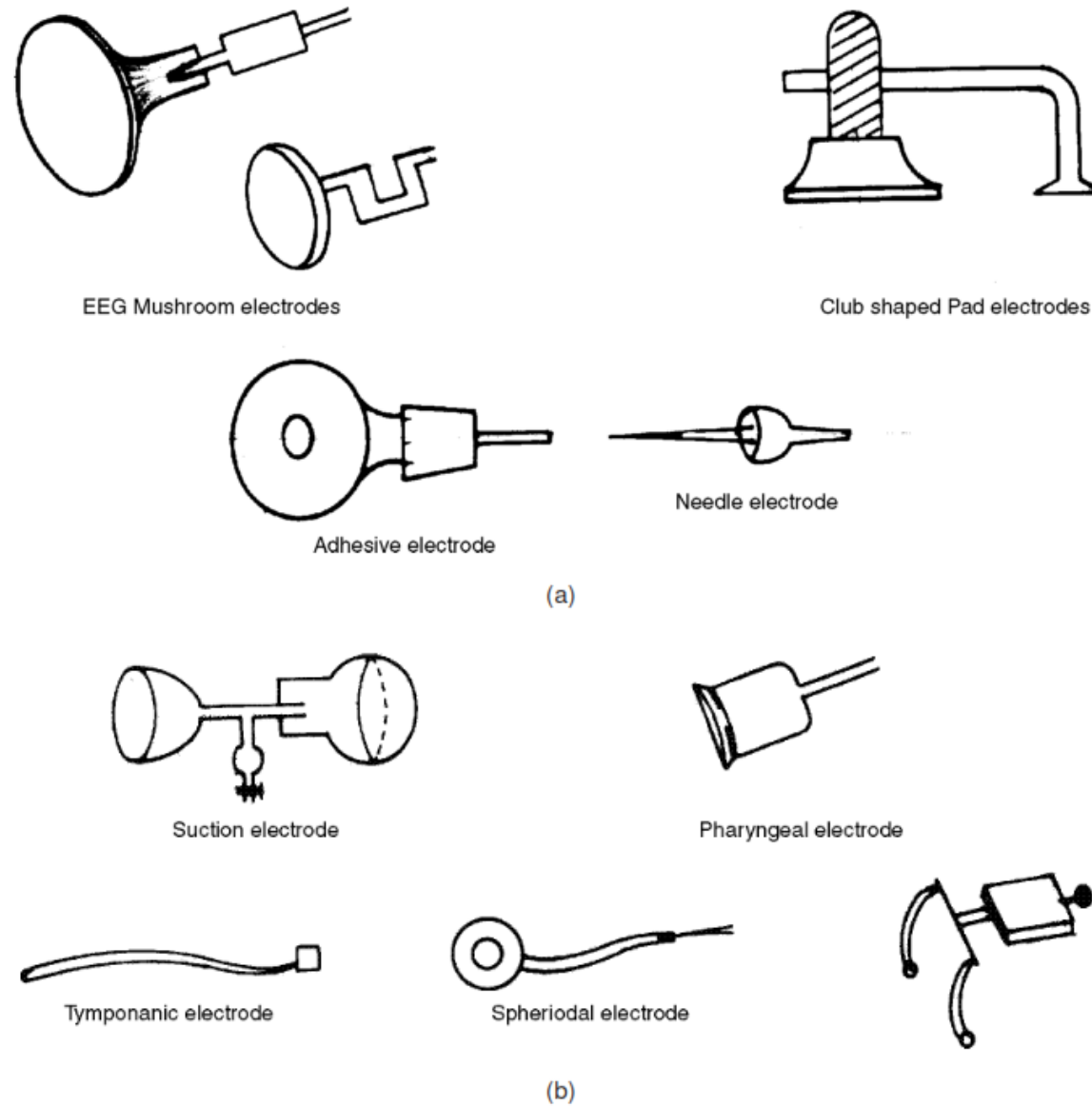


Figure 6.10 – Différentes formes d'électrodes EEG.

6.2.5. Micro-électrodes

Les microélectrodes sont des électrodes de biopotentiel avec une pointe effilée ultra-fine qui peut être insérée dans des cellules biologiques individuelles. Ces électrodes jouent un rôle important dans l'enregistrement de potentiels d'action des cellules individuelles et sont couramment utilisées dans les études neurophysiologiques (**Fig. 6.11**).

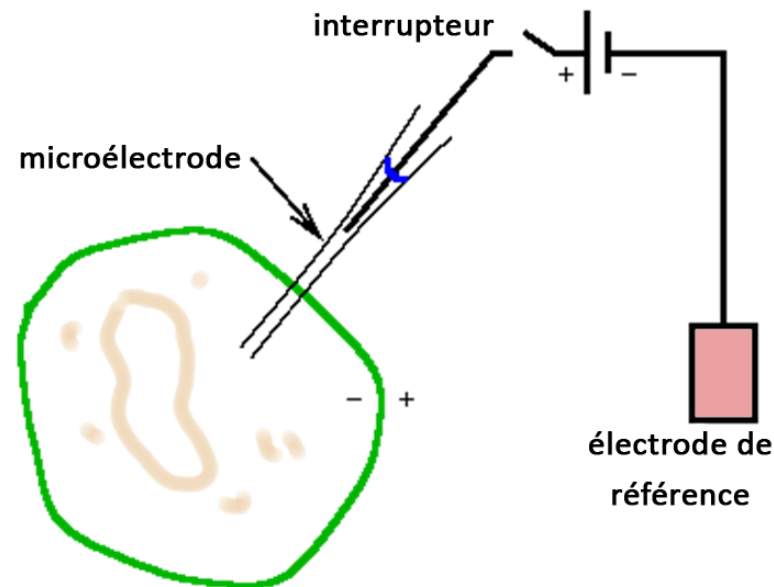


Figure 6.11 – Principe des micro-électrodes.

La pointe de ces électrodes doit être petite par rapport aux dimensions de la cellule biologique pour éviter des dommages aux cellules et en même temps suffisamment solide pour percer la paroi cellulaire. La **Fig. 6.12** illustre la construction de trois types typiques de microélectrodes: (a) micropipettes de verre, (b) microélectrodes métalliques, et (c) micro-sondes à semi-conducteur.

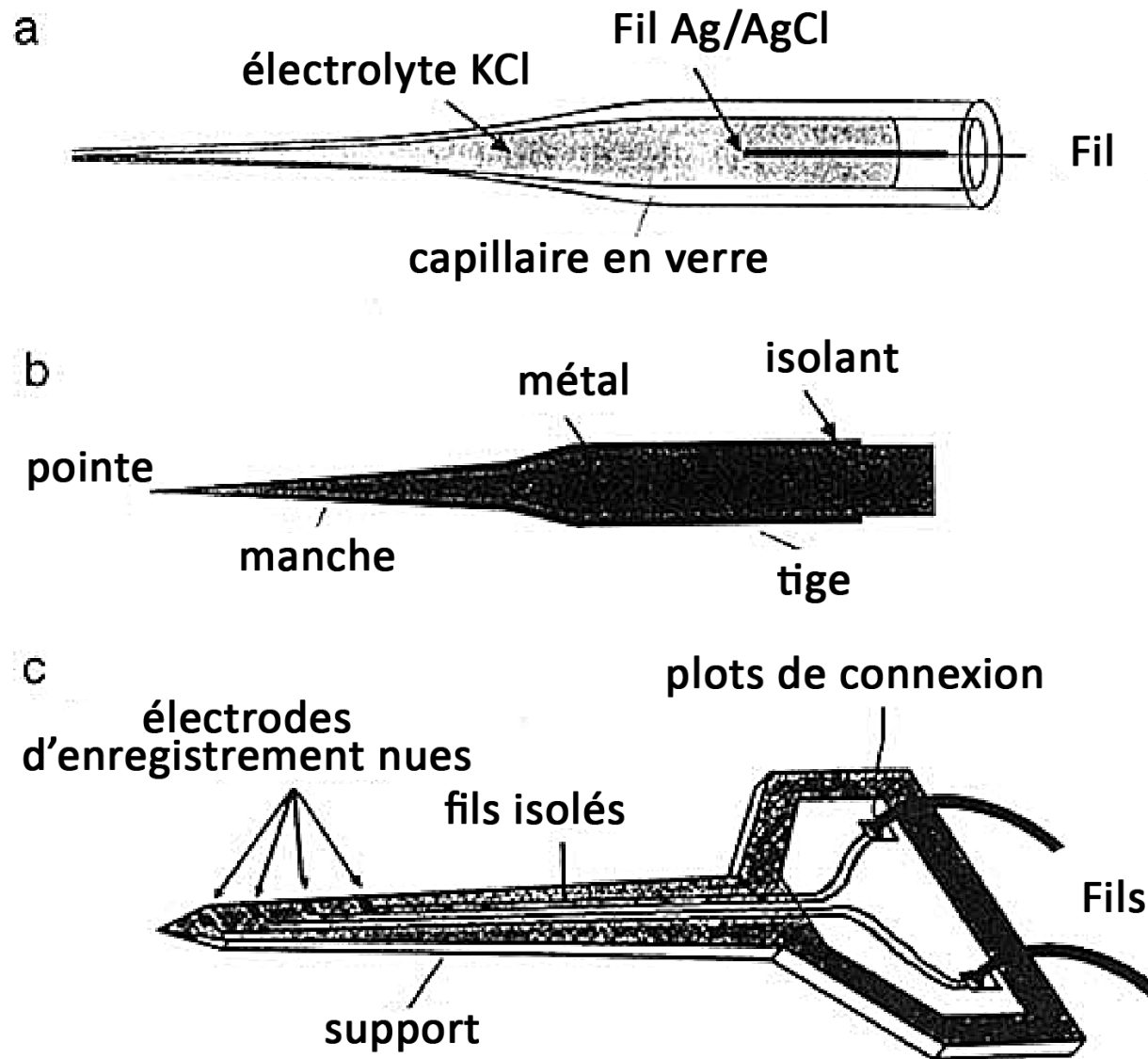


Figure 6.12 – Microélectrodes de biopotentiel: (a) microélectrodes capillaires en verre, (b) microélectrodes métalliques isolées, et (c) microélectrodes semi-conductrice multi site.