

# Électrothérapie. Électrostimulation

F. Crépon, J.-F. Doubrère, M. Vanderthommen, E. Castel-Kremer, G. Cadet

*Les courants unidirectionnels ont des effets électrolytiques. Ils peuvent provoquer des brûlures chimiques s'ils sont mal appliqués. Ils sont utilisés notamment pour le traitement de l'hyperhidrose. Les courants bidirectionnels, plus efficaces, plus confortables et plus sûrs, sont utilisés pour l'électrostimulation antalgique et excitomotrice. L'étude de leurs paramètres permet de comprendre leurs propriétés biologiques et de définir les modalités optimales de stimulation. L'électrostimulation excitomotrice du muscle innervé utilise des courants de basse et de très basse fréquence. Les courants de très basse fréquence, excitomoteurs par secousses élémentaires, sont indiqués pour faciliter la circulation locale, la récupération musculaire et la relaxation. Les courants de basse fréquence, tétanisants, sont indiqués pour le renforcement musculaire et la rééducation fonctionnelle assistée. L'électrodiagnostic de stimulation, et notamment l'étude des chronaxies, permet de déterminer si le muscle est innervé ou dénervé. L'électrostimulation excitomotrice du muscle dénervé utilise des impulsions isolées unidirectionnelles ou alternées, de longue durée, adaptée à l'augmentation de la chronaxie, afin de produire des secousses élémentaires. L'électrostimulation antalgique fondée sur la théorie du gate control est préconisée pour le traitement des douleurs localisées. On utilise des courants de basse fréquence (50 à 100 Hz) et de basse intensité dont les impulsions sont de très brève durée ( $\leq 100 \mu\text{s}$ ). Les électrodes sont placées sur le site de la douleur. L'électrostimulation antalgique basée sur le principe de la libération d'endorphines est préconisée pour le traitement des douleurs diffuses. On utilise des courants de très basse fréquence ( $< 10 \text{ Hz}$ ) et d'intensité élevée dont la durée des impulsions est comprise entre  $200 \mu\text{s}$  et  $2 \text{ ms}$ . La surface des électrodes doit impérativement être supérieure à  $100 \text{ cm}^2$ .*

© 2007 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

**Mots clés :** Électrothérapie ; Électrodiagnostic ; Électrostimulation excitomotrice ; Électrostimulation fonctionnelle ; Électrostimulation antalgique (TENS) ; Ionophorèse ; Physiothérapie

## Plan

■ Introduction	1
■ Courants électriques	2
Notions de base	2
Courant continu : électrolyse et galvanisation	3
Courant variable : paramètres et propriétés biologiques	4
Électrostimulation du muscle	6
Électrostimulation et douleur	11
■ Conclusion	17

## ■ Introduction

Le terme physiothérapie désigne l'utilisation des agents physiques naturels ou artificiels dans un but thérapeutique. Ces agents physiques sont l'eau, l'air, le climat, l'altitude, la chaleur,

le froid, le repos, le mouvement, l'exercice, le massage, l'électricité, les ondes mécaniques produites par les vibrations manuelles ou artificielles, les ondes électromagnétiques...

L'électrologie médicale appartient au domaine de la physique et concerne les applications médicales de l'électricité. L'électrothérapie désigne l'emploi de l'électricité comme moyen thérapeutique.

Électrophysiothérapie, terme employé par le décret n° 96-879 du 8 octobre 1996 relatif aux actes professionnels et à l'exercice de la profession de masseur-kinésithérapeute, désigne les applications des courants électriques proprement dits et les applications des agents physiques produits par l'électricité : ondes mécaniques et ondes électromagnétiques.

Cette première partie n'envisage que les courants électriques directement appliqués sur les tissus et notamment l'électrostimulation. Par ses propriétés antalgiques et excitomotrices, l'électrostimulation présente un intérêt majeur en rééducation fonctionnelle puisqu'elle participe à la sédation de la douleur et à la facilitation du mouvement. Les autres techniques d'électrophysiothérapie font l'objet d'un article distinct.

## Courants électriques

### Notions de base

#### Classification

Le courant électrique peut être :

- à l'état constant ou à l'état variable ;
- unidirectionnel ou bidirectionnel.

Selon son état et sa direction, il présente des propriétés et des dangers bien distincts (Fig. 1).

#### Courant à l'état constant

C'est le courant continu ou galvanique. Son intensité est constante. Il est toujours unidirectionnel.

Sa principale indication est le bain galvanique pour le traitement de l'hyperhidrose de la paume des mains, de la plante des pieds ou du moignon de l'amputé.

#### Courant à l'état variable

La variation de son intensité produit des impulsions. Une impulsion est une variation de courte durée d'une grandeur physique avec retour à l'état initial. Les impulsions peuvent être unidirectionnelles ou bidirectionnelles.

Les courants de basse fréquence (BF < 150 Hz) et de très basse fréquence (TBF < 10 Hz) produisent l'électrostimulation des tissus excitable (nerfs et muscles) et présentent des propriétés antalgiques, excitomotrices et trophiques d'un intérêt essentiel en rééducation fonctionnelle.

#### Courant unidirectionnel

Le courant unidirectionnel est polarisé : les électrons se dirigent toujours dans le même sens, du pôle négatif (cathode), vers le pôle positif (anode).

Il présente des propriétés électrolytiques aptes à produire des brûlures chimiques des tissus par formation d'acide sous l'anode et de base sous la cathode.

Pour éviter de brûler les tissus, il faut :

- utiliser un générateur à intensité constante (ou courant constant) ;

- respecter un protocole rigoureux, notamment pour le réglage de l'intensité et de la durée de la séance ;
- ne jamais l'appliquer sur des patients porteurs de pièces métalliques incluses.

Désagréable, il peut produire une sensation d'échauffement et d'irritation galvanique.

À l'état constant, on utilise le courant continu pour le traitement de l'hyperhidrose par le bain galvanique, et avec de grandes précautions.

À l'état variable, les impulsions unidirectionnelles produisent une stimulation qui prédomine sous le pôle négatif. Vu leurs dangers et leurs inconvénients, on ne les utilise que pour la stimulation du muscle dénervé.

#### Courant bidirectionnel

Le courant bidirectionnel est dépolarisé. Le pôle négatif et le pôle positif s'inversent à chaque impulsion.

Symétrique ou asymétrique à moyenne nulle, il ne présente pas de propriétés électrolytiques, donc ne produit pas de brûlure chimique. Son protocole d'application est beaucoup plus simple : on règle l'intensité supportée par le patient et on n'est pas limité par la durée de la séance, ce qui permet d'être beaucoup plus efficace. De plus, on peut l'appliquer sur des patients porteurs de pièces métalliques incluses, ce qui élargit son champ d'action.

S'il est asymétrique, les impulsions produisent une stimulation qui prédomine sous une électrode.

Confortable, il est en général bien accepté par le patient, ce qui augmente encore son efficacité.

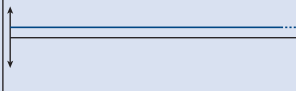

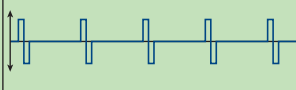
Vu ses qualités, ses propriétés thérapeutiques, son confort et son innocuité, on l'utilise pour la quasi-totalité des traitements d'électrostimulation antalgique et excitomotrice.

### Brûlures électriques

#### Types de brûlures

La brûlure physique par effet Joule peut se produire avec tous les courants dont l'intensité serait suffisamment importante.

La brûlure chimique est due aux effets électrolytiques des courants unidirectionnels.

État	Direction	Courant	Propriétés Indications	Avantages Inconvénients
État constant	Unidirectionnel	Continu ou galvanique 	Bain galvanique : traitement de l'hyperhidrose	Électrolyse : risque de brûlures chimiques
		Impulsions isolées 	Électrodiagnostic et électrostimulation du muscle dénervé	Intérêt restreint par le protocole rigoureux : intensité et durée limitées
État variable	Bidirectionnel	Basse fréquence : < 150 Hz Très basse fréquence : < 10 Hz 	Électrostimulation antalgique et excitomotrice	Contre-indication : pièces métalliques incluses
				Désagrément : irritation galvanique
				Innocuité
				Efficacité
				Indications élargies
				Confort

**Figure 1.** Classification des courants selon leur état et leur direction.

**Tableau 1.**

Types de brûlures selon la technique.

	Brûlure chimique	Brûlure physique
Électrostimulation : courant bidirectionnel	0	0
Galvanisation, électrostimulation : courant unidirectionnel	+++	0
Thermothérapie : ondes mécaniques et électromagnétiques	0	+++

### Risques de brûlures selon la technique employée

Le risque de brûlure est très différent selon que l'on considère :

- les courants directement appliqués sur la peau pour pratiquer la galvanisation et l'électrostimulation ;
- ou la thermothérapie produite par des courants de haute fréquence (Tableau 1).

**Galvanisation, électrostimulation.** Les électrodes étant appliquées directement sur la peau, les normes des appareils sont très strictes et les intensités utilisées sont très faibles, limitées à quelques mA. L'effet Joule est insignifiant, il n'y a donc pas de risque de brûlure physique.

En conséquence :

- un courant bidirectionnel à moyenne nulle ne présente aucun risque de brûlure, ni physique ni chimique ;
- un courant unidirectionnel présente uniquement un risque de brûlure chimique dont il faut tenir compte dans le protocole d'application.

**Thermothérapie.** Les courants de haute fréquence permettent de produire des ondes électromagnétiques (ondes courtes, ondes centimétriques, infrarouges) et des ondes mécaniques (ultrasons) pouvant atteindre des températures élevées.

En thermothérapie, l'effet Joule est important et la chaleur dégagée considérable. Il y a donc un risque de brûlure physique si l'intensité est trop élevée, si l'appareil est trop près des tissus ou si la séance est de trop longue durée.

### Contre-indications

Les courants unidirectionnels sont contre-indiqués sur les zones d'anesthésie ou d'hypoesthésie et sur les pièces métalliques incluses : prothèses, ostéosynthèses, agrafes, stérilet en cuivre...

Les courants d'électrostimulation de basse fréquence sont contre-indiqués dans l'aire cardiaque et la région antéro-latérale du cou.

Tous les courants sont contre-indiqués sur les lésions cutanées et les foyers infectieux, en cas de grossesse, de phlébite ou en présence d'un pacemaker ou d'un neuromodulateur.

## Courant continu : électrolyse et galvanisation

### Électrolyse

L'électrolyse est un phénomène de décomposition chimique de certaines substances en solution soumises à l'action d'un courant unidirectionnel, c'est-à-dire polarisé. Elle a deux conséquences.

#### Transport des ions

Les ions négatifs (ou anions) migrent vers l'anode (pôle positif). Les ions positifs (ou cations) migrent vers la cathode (pôle négatif). Certains auteurs ont utilisé ce principe pour essayer d'introduire des ions médicamenteux dans les tissus. Cette technique est appelée ionisation, ionophorèse, iontophorèse ou diélectrolyse.

### Formation d'acide et de base

L'électrolyse produit la formation d'acide à l'anode et de base à la cathode entraînant ainsi de graves brûlures chimiques des tissus si l'intensité est trop élevée, si le protocole d'application n'est pas strictement rigoureux ou si les précautions et contre-indications ne sont pas respectées.

### Diélectrolyse médicamenteuse

#### Effets thérapeutiques

Plusieurs publications - dont certaines très anciennes datent du XIX<sup>e</sup> siècle - soutiennent que le courant continu permet d'introduire des substances à travers la peau. D'autres auteurs ne constatent aucun passage transcutané.

Plusieurs séries de recherches sur le passage dans la circulation générale de substances administrées par ionophorèse chez l'homme ont été publiées. Quatre anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) ont été testés : indométacine, kétoprofène, diclofénac et phénylbutazone. Les dosages chromatographiques à haute performance n'ont décelé aucune trace de passage sérique de ces produits [1].

Le passage transcutané de la cortisone par ionophorèse n'est pas plus établi. Une iontophorèse de corticoïdes (dexaméthasone 3H) a été pratiquée chez cinq patients présentant un épanchement du genou d'étiologie post-traumatique, avec ponction de l'article en fin de séance. Les résultats confirment l'absence de diffusion transcutanée iontophorétique de dexaméthasone in vivo [2].

Des expérimentations in vitro et in vivo (électrophorèse sur papier des corticoïdes hydrosolubles, essais sur modèle réduit et étude animale) ont été effectuées et n'ont pas permis de mettre en évidence le passage transcutané de la cortisone par l'ionisation [3].

Il faut rester circonspect quant à la pénétration tissulaire des molécules par ionisation. De nombreux facteurs relatifs au produit, à la localisation, au courant électrique, interférant les uns avec les autres à différents niveaux, conditionnent les capacités de passage [4].

Le principe physique de l'électrolyse et le principe de l'absorption cutanée sont bien établis. Néanmoins, compte tenu des travaux mentionnés ci-dessus, on ne peut pas soutenir que la diélectrolyse permet d'améliorer le passage d'ions médicamenteux à travers la peau.

Les résultats cliniques sont très diversifiés selon les auteurs. Certains essais cliniques font état de résultats antalgiques [5] alors que d'autres montrent qu'il n'y a pas de différence entre les groupes traités par ionophorèse et les groupes témoins [6, 7], les améliorations constatées n'étant donc pas dues au traitement par ionophorèse.

La conférence de consensus « Prise en charge kinésithérapique du lombalgique » ne recommande pas l'ionophorèse parce qu'il n'y a pas d'étude montrant l'efficacité antalgique et parce que la tolérance de cette technique n'est pas exempte de problèmes [8].

Les recommandations pour les pratiques de soins mentionnent qu'il faut attendre de futurs travaux pour utiliser les ionisations dans le traitement de l'entorse externe de la cheville [9].

En pratique courante, l'électrostimulation antalgique présente une innocuité et une efficacité nettement supérieures à l'ionophorèse, par ailleurs responsable d'un grand nombre de brûlures galvaniques.

La mention de mode d'administration par ionisation a été supprimée sur la notice de tous les médicaments sur lesquels elle apparaissait.

L'efficacité de la diélectrolyse médicamenteuse est donc très controversée et il faut être réservé sur son intérêt dans le traitement des affections de l'appareil locomoteur.

## Application

Le passage transcutané est très contesté, mais la technique est encore pratiquée. Il faut donc respecter un protocole rigoureux pour éviter la brûlure chimique.

**Courant, polarité.** Le produit est déposé sur une compresse appliquée sur la peau et recouverte d'un spongieux humidifié puis de l'électrode de même signe que l'ion actif du produit. On utilise un courant continu ou galvanique, ou un courant variable unidirectionnel.

**Intensité.** L'intensité est progressive de la 1<sup>re</sup> à la 5<sup>e</sup> séance : de 0,01 à 0,05 mA/cm<sup>2</sup> de surface de la plus petite électrode pour une séance de 30 minutes.

L'augmentation d'intensité ne se fait que si la séance précédente a été bien supportée.

En début de séance, l'intensité est augmentée progressivement afin d'éviter une secousse de fermeture due à un début brusque du courant.

En fin de séance, l'intensité est diminuée progressivement afin d'éviter une secousse d'ouverture due à une interruption brusque du courant.

**Précautions et contre-indications spécifiques.** Elles sont identiques à celles du bain galvanique.

## Bain galvanique et hyperhidrose

### Effets thérapeutiques

Le bain galvanique à l'eau naturelle (eau du réseau) apparaît actuellement comme le moyen le plus simple et le plus efficace pour traiter l'hyperhidrose de la paume des mains, de la plante des pieds ou du moignon de l'amputé [10, 11] bien que son mode d'action reste hypothétique. L'anode est le pôle le plus efficace [12, 13].

### Application

**Bain galvanique.** Deux bassines en plastique sont nécessaires pour immerger séparément la paume des mains ou la plante des pieds. S'il s'agit de moignons, l'immersion se fait dans des seaux en plastique.

Interposer des caillebotis en plastique pour séparer la peau et les électrodes immergées.

Immerger les mains ou les pieds à mi-hauteur dans l'eau de la ville.

Courant continu ou galvanique.

**Intensité.** L'intensité est progressive de la 1<sup>re</sup> à la 5<sup>e</sup> séance : de 0,01 à 0,05 mA/cm<sup>2</sup> de surface de peau immergée d'une seule main ou d'un seul pied (100 à 300 cm<sup>2</sup>) pour une séance de 30 à 40 minutes.

La surface de l'électrode immergée n'intervient pas dans le calcul de l'intensité.

L'augmentation d'intensité ne se fait que si la séance précédente a été bien supportée.

**Protocole.** Vérifier que les potentiomètres d'intensité sont à zéro et immerger les mains ou les pieds à mi-hauteur.

Régler progressivement l'intensité.

Galvanisation pendant 15 à 20 minutes. Quinze minutes en début de traitement, puis augmentation progressive jusqu'à 20 minutes si le traitement est bien supporté.

Diminuer progressivement l'intensité.

Inverser la polarité des électrodes et réitérer.

Les mains, les pieds ou les moignons ne doivent jamais être plongés dans l'eau ni retirés pendant le passage du courant, ce qui provoquerait :

- une violente secousse de fermeture ou d'ouverture ;
- un effet de pointe, c'est-à-dire une forte concentration de courant sur une faible surface de peau.

Il faut donc préalablement ramener l'intensité à zéro.

**Précautions.** Tous les objets métalliques (bagues, bijoux...) doivent être enlevés.

Examen préalable de la peau : toute lésion cutanée risque de concentrer l'intensité du courant sur une faible surface (effet de pointe) et d'entraîner une brûlure.

Sensibilité : les téguments blancs, blonds et roux sont particulièrement vulnérables au courant galvanique.

L'apparition d'un érythème impose d'interrompre le traitement et de ne le reprendre qu'avec une intensité inférieure.

Surveillance constante : risque de brûlure chimique.

**Contre-indications spécifiques.** Lésions cutanées, anesthésie, hypoesthésie.

Pièces métalliques incluses, stérilet en cuivre.

## Courant variable : paramètres et propriétés biologiques

### Excitabilité de la fibre nerveuse

L'excitabilité est la propriété des cellules qui leur permet de répondre à un stimulus.

### Potentiel d'action

Lorsqu'on stimule un nerf, il se produit une brusque inversion du potentiel de membrane : la face interne devient positive et la face externe négative pendant une brève durée [14, 15]. À ce pic, succède une chute du potentiel de membrane, qui rejoint ensuite la valeur initiale du potentiel de repos. L'ensemble de ces phénomènes électriques correspond au potentiel d'action qui présente une amplitude d'environ 110 mV et une durée d'environ 1 ms.

**Périodes réfractaires.** Pendant le déroulement d'un potentiel d'action, l'excitabilité est complètement modifiée : la fibre nerveuse est d'abord totalement inexcitable (période réfractaire absolue), puis moins excitable (période réfractaire relative).

**Loi du tout ou rien.** Le potentiel d'action n'apparaît pas si le stimulus a une amplitude inférieure au seuil critique (stimulus infraliminaire). Quand l'intensité du stimulus atteint (stimulus liminaire) ou dépasse (stimulus supraliminaire) le seuil, quelle que soit l'amplitude du stimulus, le potentiel d'action apparaît avec une amplitude constante, caractéristique de la fibre stimulée.

### Électrostimulation

**Loi fondamentale.** L'électrostimulation consiste à déclencher un potentiel d'action au moyen d'une impulsion dont l'intensité liminaire (I) augmente quand sa durée (t) diminue suivant la relation :  $I = q/t + i_0$ .

Dans cette équation :

- q est la quantité de charges électriques constituant l'impulsion ;
- $i_0$  est l'intensité minimale pour stimuler avec une impulsion de durée infinie.

**Rhéobase.** Si  $t = \infty$ , l'équation devient  $I = i_0 = Rh$ .

La rhéobase (Rh) est l'intensité minimale pour stimuler avec une impulsion à début brusque et de durée infinie (Fig. 2).

Donc, dans le cas d'une impulsion rectangulaire, la relation peut s'écrire :  $I = q/t + Rh$ .

**Chronaxie.** Si  $I = 2Rh$ , l'équation devient  $2Rh = q/t + Rh \Leftrightarrow Rh = q/t \Leftrightarrow t = q/Rh = Chr$ .

La chronaxie (Chr) est la durée minimale pour stimuler avec une impulsion d'intensité double de la rhéobase (Fig. 2).

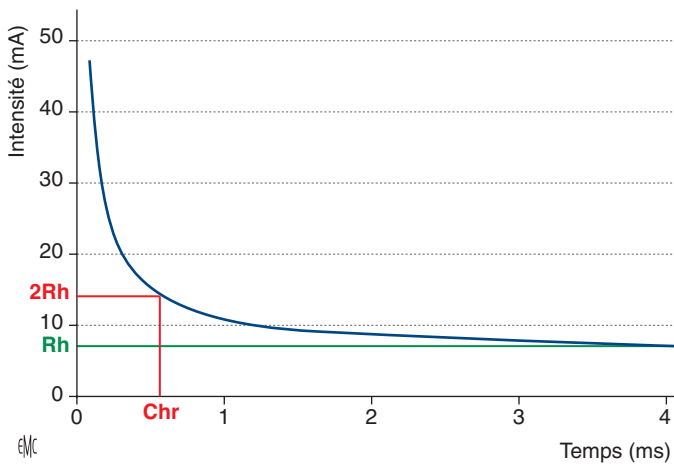
## Paramètres et propriétés des impulsions

### Intensité, durée d'impulsion, fréquence

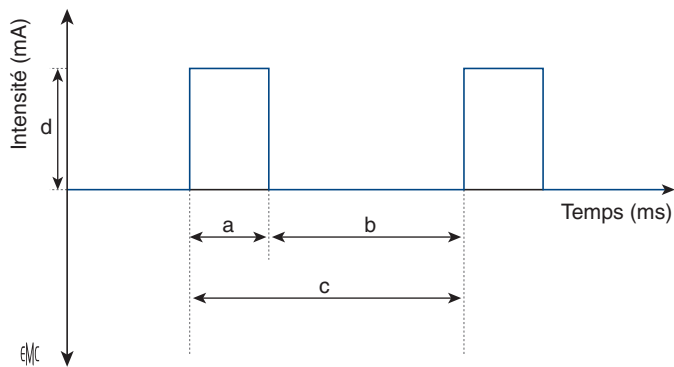
La stimulation et la perception par le patient sont directement proportionnelles à la durée de l'impulsion (Fig. 3, a).

La stimulation et la perception par le patient sont directement proportionnelles à l'intensité de l'impulsion (Fig. 3, d).

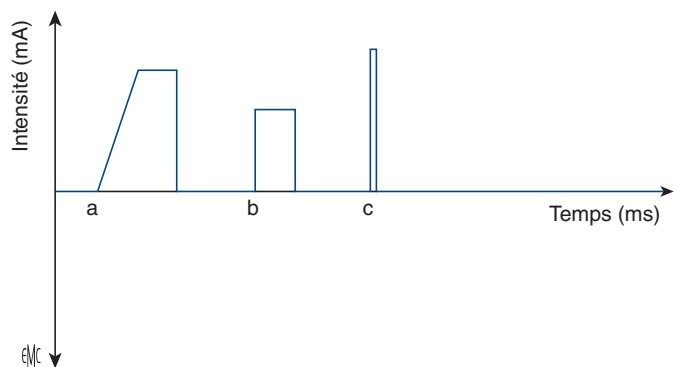
La fréquence, inversement proportionnelle à la période (Fig. 3, c), définit aussi les propriétés biologiques des impulsions.



**Figure 2.** Électrostimulation : rapport intensité-durée. Rhéobase (Rh) : intensité minimale d'une impulsion à début brusque et de durée infinie atteignant le seuil de l'excitation. Chronaxie (Chr) : durée minimale d'une impulsion rectangulaire d'intensité double de la rhéobase nécessaire pour atteindre le seuil de l'excitation.



**Figure 3.** Impulsions rectangulaires : intensité, durée, fréquence. a : durée d'impulsion (ms ou  $\mu$ s) ; b : espacement (ms) ; c : période (ms) déterminant la fréquence (Hz) ; d : intensité (mA).



**Figure 4.** Impulsions unidirectionnelles. a : impulsion progressive ; b : impulsion rectangulaire ; c : impulsion rectangulaire de brève durée.

### Rapport intensité-durée

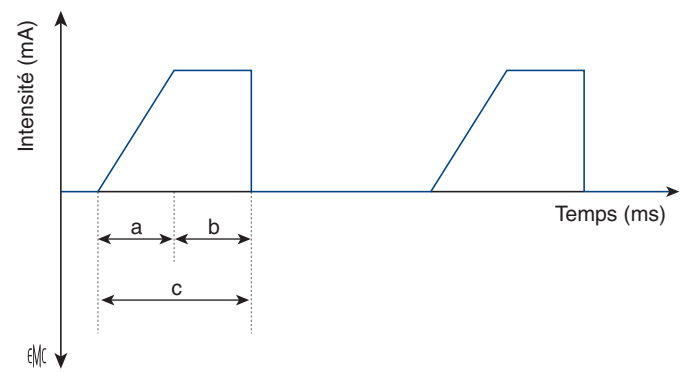
Plus on diminue la durée d'une impulsion, plus il faut augmenter son intensité pour obtenir une stimulation équivalente (Fig. 4, b, c).

### Pente ou durée d'établissement

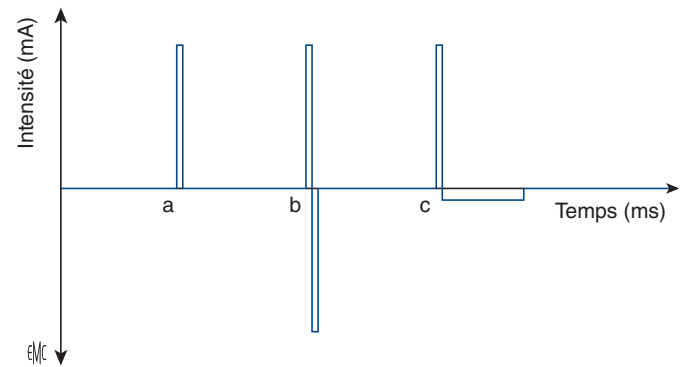
Une impulsion progressive a une durée d'établissement supérieure à 2 ms (Fig. 5, a).

La durée d'établissement – qu'on appelle également la pente – est un facteur d'inefficacité et de douleur :

- si on augmente la durée d'établissement sans augmenter l'intensité, la réponse disparaît quand on atteint la pente limite ;



**Figure 5.** Impulsion progressive. a : durée d'établissement de l'impulsion (ms) ; b : durée du sommet de l'impulsion (ms) ; c : durée d'impulsion (ms).



**Figure 6.** Direction des impulsions. a : impulsion unidirectionnelle ; b : impulsion bidirectionnelle symétrique ; c : impulsion bidirectionnelle asymétrique à moyenne nulle : les quantités d'électricité sont identiques de part et d'autre de la ligne isoélectrique.

- si on augmente la durée d'établissement, il faut augmenter l'intensité pour maintenir la réponse et la stimulation est plus désagréable.

Lorsqu'un courant s'établit progressivement, il peut atteindre des intensités élevées sans provoquer d'excitation, alors que, pour ces mêmes intensités, un courant s'établissant instantanément dépasse le seuil. Le seuil d'excitation apparaît donc moins élevé lorsque le courant s'établit instantanément (Fig. 4, a, b) [16, 17].

Une impulsion rectangulaire dont l'intensité s'établit instantanément est également appelée impulsion à début brusque ou à front raide (Fig. 4, b). Elle est plus confortable qu'une impulsion progressive (Fig. 4, a) puisqu'elle est aussi efficace avec une intensité inférieure.

### Direction

Une impulsion unidirectionnelle présente des propriétés électrolytiques (Fig. 4, 6, a).

Une impulsion bidirectionnelle est dite à moyenne nulle lorsque les quantités d'électricité sont égales de chaque côté de la ligne isoélectrique ; dans ce cas, elle ne présente pas de propriétés électrolytiques.

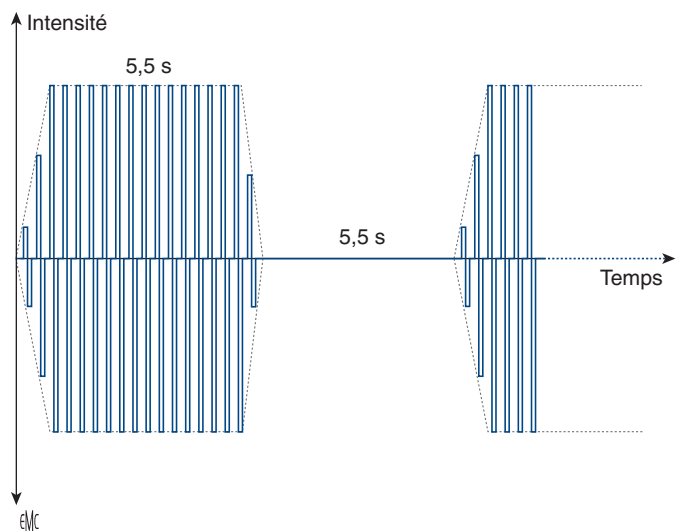
Une impulsion bidirectionnelle symétrique est donc toujours à moyenne nulle (Fig. 6, b).

Une impulsion bidirectionnelle asymétrique doit être à moyenne nulle pour ne pas provoquer d'électrolyse (Fig. 6, c).

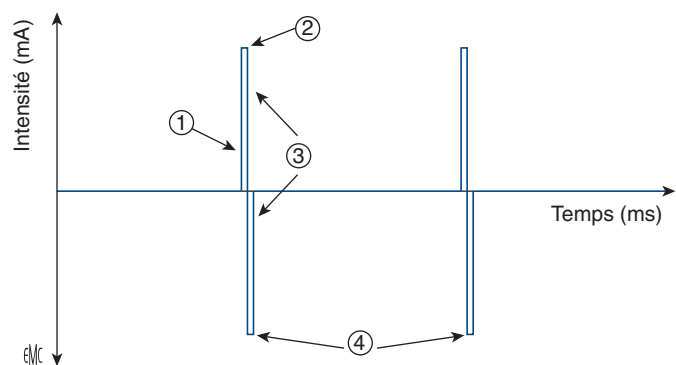
### Modulations

Une modulation est une variation des paramètres. On peut faire varier un ou plusieurs paramètres : durée, amplitude, fréquence. La wobulation est une variation progressive et périodique permettant de balayer une plage de fréquences.

Les modulations modifient la perception du courant par le patient et les effets biologiques : type de contraction musculaire



**Figure 7.** Courant intermittent. Temps de travail TT et temps de repos TR. Courbe enveloppe progressive (en pointillé), impulsions rectangulaires.



**Figure 8.** Paramètres des impulsions optimales. 1. Début : brusque, rectangulaire = efficacité + confort ; 2. durée : brève, adaptée = confort + efficacité ; 3. direction : moyenne nulle = innocuité + confort + efficacité ; 4. fréquence : basse ou très basse = effets thérapeutiques antalgiques et excitomoteurs.

(secousse élémentaire ou tétanisation), type de stimulation antalgique (*gate control* ou libération d'endorphines), lutte contre l'accoutumance...

### Courant intermittent

On appelle temps de travail (TT) le temps de passage du courant (train d'impulsions) et temps de repos (TR) le temps d'interruption du courant. Le TR doit être égal ou supérieur au TT. On utilise ce courant pour tétaniser les muscles innervés.

La courbe enveloppe du TT peut être progressive pour que la stimulation soit plus confortable, mais les impulsions qui composent ce TT doivent toujours être rectangulaires (Fig. 7).

Le déclenchement des TT et TR peut être :

- soit automatique, programmé par le générateur ;
- soit manuel, commandé par le patient, pour accompagner la rééducation active assistée par électrostimulation.

### Paramètres des impulsions optimales

Le courant d'électrostimulation optimal doit être le plus efficace, le plus confortable et le plus sûr. Ses paramètres (début, durée, direction, fréquence) doivent lui permettre d'atteindre le seuil d'excitabilité avec le moins d'énergie électrique possible et sans effets électrolytiques (Fig. 8).

#### Début : brusque, rectangulaire = efficacité + confort

L'impulsion rectangulaire est plus efficace et plus confortable qu'une impulsion progressive puisqu'elle produit une stimulation identique avec une intensité moindre.

#### Durée : brève, adaptée = confort + efficacité

La durée d'impulsion doit être suffisante pour être efficace, mais ne pas dépasser la durée utile pour être confortable. La durée optimale, compromis entre l'efficacité et la tolérance, correspond à la chronaxie de l'axone stimulé [18, 19].

#### Direction : moyenne nulle = innocuité + confort + efficacité

Les impulsions bidirectionnelles à moyenne nulle sont :

- plus sûres puisque l'absence d'effets électrolytiques écarte le risque de brûlure chimique ;
- plus agréables puisqu'elles ne provoquent pas de sensation d'irritation galvanique ;
- plus efficaces puisque, mieux tolérées et sans risque, elles permettent des applications de longue durée, y compris avec des intensités élevées et sur des zones comportant des pièces métalliques.

#### Fréquence : basse ou très basse = effets thérapeutiques

Les courants de basse fréquence inférieure à 150 Hz, et de très basse fréquence inférieure à 10 Hz, compatibles avec les fréquences physiologiques, sont les seuls à présenter un intérêt antalgique [20] et excitomoteur. La fréquence des impulsions est choisie en fonction de l'objectif de la stimulation électrique et du type de fibre à dépolariser en priorité.

### Courants-types

En combinant les fréquences, durées et intensités, on obtient des effets différents, antalgiques, excitomoteurs et trophiques.

Nous sériions trois grands types de courants d'électrostimulation (Fig. 9).

- BF BI (basse fréquence, 50 à 100 Hz, basse intensité) :
  - antalgique par *gate control* (durée d'impulsion  $\leq 0,1$  ms).
- TBF IE (très basse fréquence, 2 à 8 Hz, intensité élevée) :
  - excitomoteur par secousses élémentaires (durée d'impulsion : 0,1 à 0,6 ms) ;
  - antalgique par libération d'endorphines (durée d'impulsion : 0,2 à 2 ms).
- BF IT (basse fréquence, 20 à 80 Hz, intensité suffisante pour tétaniser) :
  - excitomoteur tétanisant (durée d'impulsion : 0,1 à 0,6 ms).

Ces trois courants-types sont conformes aux quatre paramètres des impulsions optimales et peuvent être perfectionnés par des spécificités et modulations qui leur donneront des propriétés complémentaires afin d'augmenter leur efficacité [21].

### “ Point essentiel

Toute électrostimulation antalgique ou excitomotrice doit impérativement respecter les paramètres des impulsions optimales. À défaut, elle serait moins efficace, moins confortable, voire dangereuse.

## Électrostimulation du muscle

### Physiologie et excitabilité neuromusculaire

#### Unité motrice

L'unité motrice est l'ensemble constitué par le motoneurone, cellule de gros diamètre dont le corps cellulaire est situé dans la moelle épinière, l'axone et l'ensemble des fibres musculaires qui en dépendent.

#### Sommation temporelle : influence de la fréquence de stimulation

L'excitation du motoneurone par un potentiel d'action unique entraîne une réponse motrice unique que l'on appelle

Paramètres	Courants types	Propriétés	Indications
<b>BF BI</b> Basse fréquence 50 à 100 Hz Basse intensité		Antalgique par <i>gate control</i> (durée d'impulsion $\leq 0,1$ ms)	Douleurs localisées
<b>TBF IE</b> Très basse fréquence 2 à 8 Hz Intensité élevée		Antalgique par libération d'endorphines (durée d'impulsion : 0,2 à 2 ms)  Excitomoteur par secousses élémentaires (durée d'impulsion : 0,1 à 0,6 ms)	Douleurs diffuses  Éveil musculaire
<b>BF IT</b> Basse fréquence 20 à 80 Hz Intensité suffisante pour tétaniser		Excitomoteur tétanisant (durée d'impulsion : 0,1 à 0,6 ms)	Amyotrophies  Renforcement musculaire

Figure 9. Courants-types.

secousse élémentaire. La durée du potentiel d'action est de l'ordre de la milliseconde. La durée de la secousse musculaire est de 10 ms pour les muscles les plus rapides à 100 ms pour les plus lents.

Lorsque le muscle est parcouru par une succession de potentiels d'action distincts d'une fréquence supérieure à 10 Hz, on assiste à une fusion des phénomènes mécaniques appelée tétanisation qui développe un niveau de tension nettement plus important que celui enregistré lors d'une simple secousse musculaire [15, 22].

Les unités motrices lentes de type I commencent à fusionner lorsque la fréquence atteint 10 Hz et se tétanisent parfaitement aux environs de 30 Hz. C'est à cette fréquence que les unités motrices rapides de type II b commencent leur sommation et elles se tétanisent parfaitement aux environs de 65 Hz [23, 24].

#### Sommation spatiale : influence de l'intensité de stimulation

Le recrutement de nouvelles unités motrices permet également d'augmenter la force développée au niveau d'un groupe musculaire.

La contraction musculaire électro-induite est caractérisée par une sollicitation métabolique importante dans les zones superficielles du muscle, comparativement aux zones profondes, témoignant d'un recrutement spatial relativement superficiel [25]. Ce recrutement spécifique de l'électrostimulation transcutanée résulte de la propagation du courant dans les tissus à partir des zones situées sous l'électrode cutanée. Ainsi, les unités motrices superficielles sont activées les premières et le recrutement atteint ensuite des unités motrices situées d'autant plus profondément que l'intensité du courant s'élève [26] (Fig. 10).

#### Effets sur le muscle innervé

##### Effets métaboliques

La contraction électro-induite entraîne une sollicitation énergétique globale très importante et très supérieure à celle engendrée par une contraction volontaire comparable du point de vue de la force développée [27].

Cette sollicitation métabolique exagérée sous électrostimulation s'interprète de la manière suivante [28] :

- l'électrostimulation entraîne le recrutement continu de la même population d'unités motrices durant la totalité de l'effort, alors que le système nerveux central remplace régulièrement le pool des unités motrices en activité ;
- la fréquence de stimulation imposée est souvent proche de la fréquence maximale de décharges spontanées des unités motrices les plus rapides (fibres II b) ;

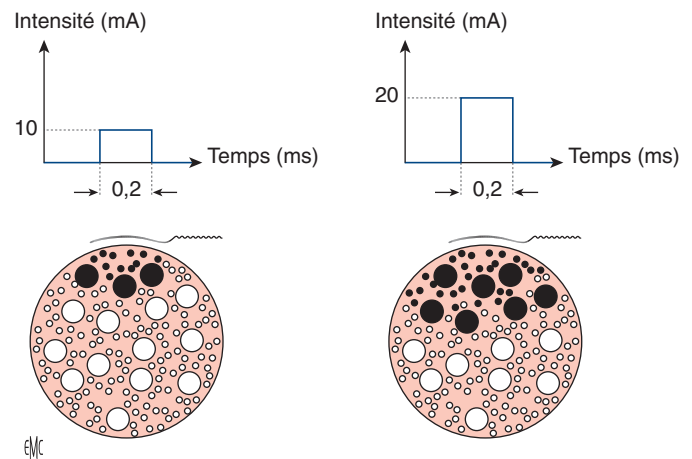


Figure 10. Somme spatiale. Recrutement des unités motrices selon l'intensité du courant.

- le muscle squelettique est activé de manière asynchrone lors de l'effort volontaire, alors que l'électrostimulation recrute les branches motoneurales de manière synchrone.

#### Niveaux de force atteints

La contraction volontaire développe plus de force musculaire que la contraction électrique. Sous stimulation électrique, on peut développer 50 à 60 % de la force isométrique maximale volontaire [29].

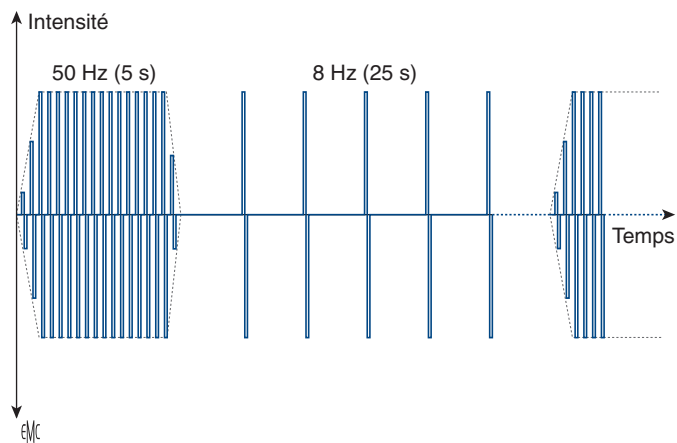
#### Entraînement

L'amélioration de la force volontaire apparaît directement proportionnelle à l'intensité de la contraction évoquée lors des séances d'entraînement. L'efficacité de l'entraînement et de la rééducation électro-induite exige donc des paramètres de stimulation adéquats et une intensité de stimulation élevée au niveau maximal toléré par le patient.

#### Programmes d'électromyostimulation

##### Courants BF IT et TBF IE associés, excitomoteurs de traitement d'amyotrophie

Ces courants, utilisés en période d'immobilisation complète ou segmentaire, sont constitués d'une alternance de phases de contractions tétanisantes (50 Hz) d'une durée de 5 secondes et non tétanisantes (8 Hz) d'une durée de 25 secondes [30] (Fig. 11). La durée du traitement est d'environ 60 minutes.



**Figure 11.** Courants BF IT et TBF IE associés. Phase de tétanisation et phase de secousses élémentaires.

### Courants BF IT excitomoteurs de renforcement musculaire

Ces courants tétanisants sont utilisés lorsque le patient réalise à nouveau des activités fonctionnelles de base ou dans le suivi postopératoire d'une intervention chirurgicale locomotrice [31, 32].

L'alternance de contractions tétanisantes (50 Hz) d'une durée d'environ 5 secondes et de temps de repos de durée égale permet de solliciter le muscle avec des caractéristiques de décharge de fibres rapides (Fig. 7). La durée du traitement est de 20 minutes. La progression consiste à augmenter parallèlement la fréquence jusqu'à environ 80 Hz et le temps de repos jusqu'à 10 secondes.

### Courants TBF IE excitomoteurs de récupération après effort

Ces courants non tétanisants (fréquence inférieure à 10 Hz) sont appliqués pendant environ 20 minutes. Leurs effets sur la qualité de la récupération de la fonction musculaire à la suite d'efforts maximaux ou sous-maximaux ont été étudiés. Ces courants apparaissent supérieurs à une récupération passive en termes de disparition des douleurs résiduelles et de vitesse de restauration des potentialités musculaires. Cependant, cette efficacité n'est pas supérieure à celle d'une récupération active classique. Les effets de ces courants peuvent s'expliquer par un effet antalgique et par une amélioration du débit sanguin musculaire d'origine à la fois mécanique (effet de pompe) et métabolique [33, 34].

## Électromyostimulation et rééducation

L'électrostimulation musculaire ou électromyostimulation s'intègre dans les techniques de rééducation fonctionnelle, elle les complète mais ne doit pas les remplacer. Selon l'objectif recherché, on distingue deux modalités d'application.

### Électrostimulation préprogrammée

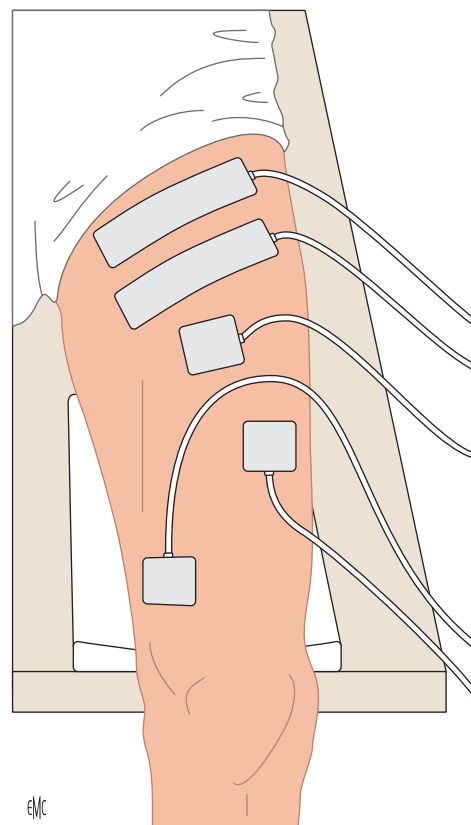
Dans la majorité des cas où l'objectif est principalement trophique, l'électrostimulation est appliquée avec un programme imposé.

### Rééducation assistée, électrostimulation commandée

Si l'objectif est la correction d'un trouble orthopédique, l'apprentissage d'un mouvement ou d'une fonction, et pour toute rééducation à visée proprioceptive, on applique des techniques actives et interactives.

**Rééducation assistée.** Le patient associe une contraction active à la contraction électro-induite, ce qui permet de maintenir la commande volontaire. L'électrostimulation participe ainsi à l'éveil proprioceptif, initie, guide, assiste, renforce la contraction volontaire.

**Électrostimulation commandée.** Plutôt que d'imposer un rythme travail/repos préprogrammé qui se substitue à la



**Figure 12.** Amyotrophie du muscle quadriceps fémoral. Position du patient : assis ou couché, flexion du genou à 60°. En cas de chondropathie patellaire avec patella stable : flexion du genou à 5°. Courants BF IT et TBF IE.

commande volontaire, il est préférable d'utiliser un déclencheur commandé par le patient et qui lui permet :

- de faire intervenir l'électrostimulation au moment opportun du mouvement actif, c'est-à-dire dès le début pour l'initier et le guider, pendant le mouvement pour l'accompagner ou à la fin pour le compléter ;
  - de régler lui-même le temps d'activité électrique qu'il supporte et un temps de repos adapté à ses besoins.
- De plus, cette technique sécurise le patient qui ne craint plus l'arrivée automatique des trains d'impulsions [21].

## Applications

### Rééducation fonctionnelle

**Immobilisations, troubles trophiques.** Les courants BF IT et TBF IE associés, excitomoteurs de traitement d'amyotrophie, présentent un intérêt en période d'immobilisation (Fig. 12).

**Renforcement musculaire.** Les courants BF IT excitomoteurs de renforcement musculaire permettent d'accélérer la récupération musculaire (Fig. 13).

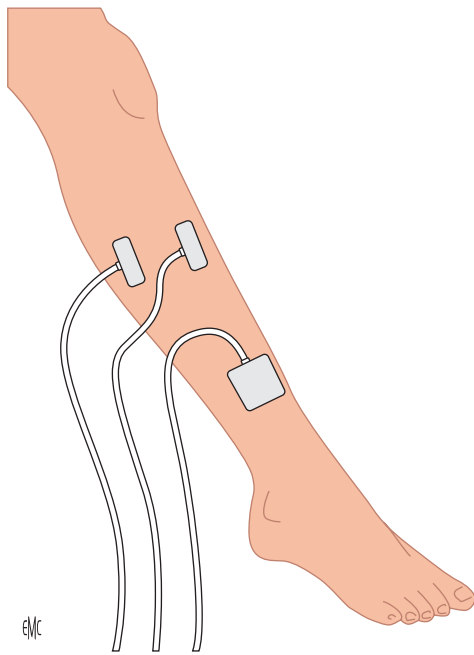
**Correction des troubles orthopédiques.** L'électrostimulation participe aux techniques de recentrage de la patella, de la tête humérale ou du centre de gravité. On utilise des courants BF IT excitomoteurs de renforcement musculaire (Fig. 14).

**Contractures.** Les contractures, fréquentes en rhumatologie et en traumatologie, par exemple les contractures satellites des coxarthroses peuvent être traitées par contracté-relâché électro-induit.

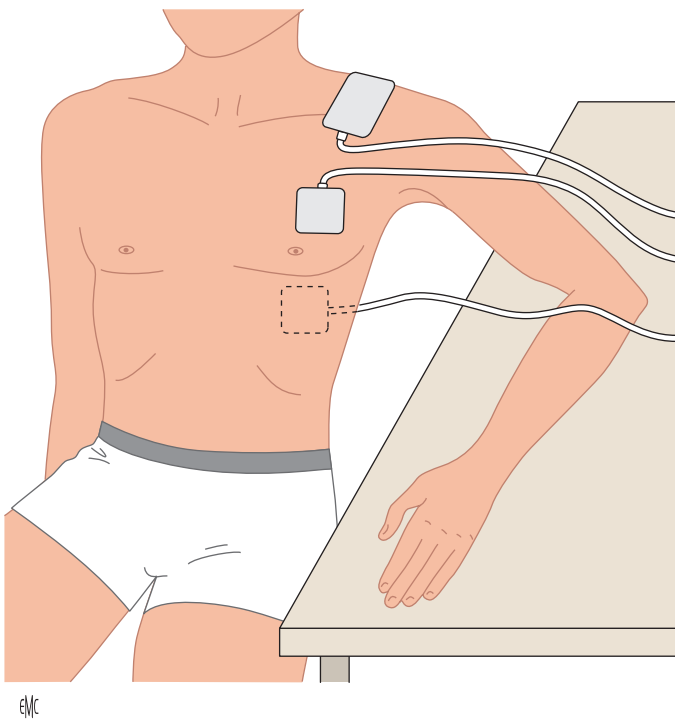
L'électrostimulation se pratique sur les muscles contracturés installés en course externe avec des courants :

- TBF IE, excitomoteurs par secousses élémentaires ;
- BF IT, excitomoteurs tétanisants dont l'intensité des trains d'impulsions augmente progressivement puis redescend à zéro instantanément.

L'électrostimulation se pratique aussi sur les muscles antagonistes installés en course interne avec des courants BF IT.



**Figure 13.** Renforcement des muscles long fibulaire et tibial antérieur. Position du patient : 1<sup>er</sup> temps, pied en décharge ; 2<sup>e</sup> temps, pied en charge. Rééducation musculaire après entorse du ligament collatéral fibulaire de la cheville. Courants BF IT pour le renforcement. Courants TBF IE pour la récupération après effort.

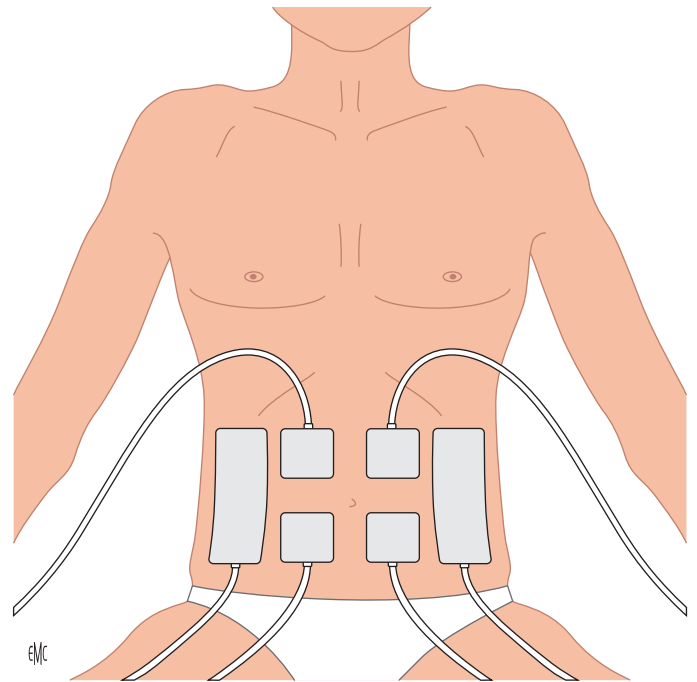


**Figure 14.** Recentrage de la tête humérale. Position du patient : lorsque le bras est en abduction et le coude en appui, l'électrostimulation simultanée des muscles grand dorsal et grand pectoral entraîne un abaissement de la tête humérale dans la cavité glénoïde. Rééducation assistée du conflit acromiotubérositaire. Courants BF IT.

### Rééducation respiratoire

**Rééducation assistée des muscles expirateurs.** L'électrostimulation des muscles abdominaux commandée par le patient permet d'assister les exercices d'expiration active [21]. On utilise des courants BF IT, excitomoteurs téтанisants (Fig. 15).

**Assouplissement thoracique.** L'électrostimulation des muscles thoracoabdominaux participe aux exercices d'assouplissement du thorax dans la rééducation des séquelles pleurales et



**Figure 15.** Électrostimulation des muscles abdominaux. Position du patient : assis, en décubitus ou dans toute position permettant le travail des muscles abdominaux. Si l'effet recherché est le renforcement abdominal, le patient déclenche les trains d'impulsions pendant la contraction active pour l'assister ou à la fin de la contraction pour la compléter. Si l'effet recherché est ventilatoire, la stimulation est déclenchée sur le temps expiratoire ou à la fin de celui-ci. Courants BF IT.

des séquelles pariétales de chirurgie thoracique [21]. On utilise des courants TBF IE, excitomoteurs par secousses élémentaires à 2 Hz.

### Rééducation neurologique

**Stimulation électrique fonctionnelle (SEF).** La SEF se pratique en neurologie centrale avec des appareils portatifs pour traiter le steppage, la subluxation inférieure de l'épaule hémiparalysée, le syndrome épaule-main de l'hémiparalysé...

La SEF du steppage se traduit, pendant la phase oscillante, par une flexion dorsale de cheville équilibrée dans le plan frontal et, durant la phase d'appui par une répartition homogène du poids du corps. Le réglage préalable de l'intensité du courant BF IT se réalise de la manière suivante : dans un premier temps, sur le canal du muscle tibial antérieur afin d'obtenir une flexion dorsale satisfaisante, puis au niveau du muscle long fibulaire afin de corriger le positionnement du pied en inversion et donc de le replacer dans l'axe dans le plan frontal (Fig. 13). Cette stimulation se réalise soit durant le cycle complet (stimulation continue), soit uniquement en phase oscillante à l'aide d'un contacteur placé sous le pied du patient.

**Héminégligence.** L'électrostimulation transcutanée appliquée au niveau cervical sur le côté opposé à la lésion réduit l'instabilité posturale chez des patients présentant une héminégligence après accident vasculaire cérébral (AVC). Aucun effet n'a été observé chez les patients ne présentant pas d'héminégligence [34].

**Paralysies périphériques.** Les muscles dénervés ne peuvent et ne doivent pas être stimulés par les courants BF IT et TBF IE, mais uniquement avec les impulsions isolées de longue durée décrites plus loin.

### Rééducation périnéale

**Incontinence urinaire d'effort (IUE).** L'IUE se caractérise par des fuites involontaires d'urine lors d'efforts importants (toux, sports) ou minimes. L'IUE est la conséquence d'un défaut du système de clôture de la vessie. Celui-ci est altéré après accouchement dystocique, intervention pelvienne

(prostatectomie), pathologie neurologique périphérique ou carence œstrogénique de la femme ménopausée.

L'électrostimulation permet la prise de conscience de la contraction des muscles périnéaux puis leur renforcement [35]. Le gain de pression obtenu par l'effort de retenue volontaire (ERV) est mis en évidence lors de l'enregistrement de la pression urétrale [36].

L'électrostimulation excitomotrice des IUE se pratique sur les muscles de soutien du périnée avec une électrode intracavitaire et avec des courants :

- TBF IE, excitomoteurs par secousses élémentaires, pour familiariser le patient ;
- puis BF IT, excitomoteurs tétanisants, en rééducation active assistée, le déclenchement des trains d'impulsions étant commandé par le patient.

Selon le critère de l'énergie minimale dissipée, les durées d'impulsion à utiliser en rééducation urogénitale s'étendent de 230  $\mu$ s à 1 ms. En dessous, l'effet excitomoteur est insuffisant dans des conditions de confort supportables et de sécurité [37].

**Incontinence par impériosité.** L'incontinence urinaire par impériosité se caractérise par des fuites involontaires d'urine précédées d'un besoin urgent, difficile à différer et elle s'accompagne d'une pollakiurie (> 8 mictions/24 h). Il s'agit d'une hyperactivité vésicale (ou instabilité vésicale) c'est-à-dire d'une contraction non inhibée du détrusor qui survient pour un volume vésical diminué. Ceci est la conséquence d'une activation anormale du parasympathique. Ce dysfonctionnement a des origines nombreuses : locorégionales, neurologiques ou idiopathiques.

L'électrostimulation participe à :

- l'inhibition des centres médullaires sacrés parasympathiques par l'intermédiaire des réflexes du cône médullaire dont la voie afférente est le nerf pudendal (nerf honteux interne) ;
- l'amélioration de la contraction des muscles périnéaux, point de départ de cette inhibition [38].

L'électrostimulation excitomotrice se pratique avec des courants TBF IE [39], excitomoteurs par secousses élémentaires appliqués sur les muscles du périnée avec une électrode intracavitaire. Les fréquences qui semblent les plus efficaces se situent autour de 4 Hz.

Un nouveau protocole de stimulation non invasif avec des électrodes transcutanées appliquées sur le nerf tibial postérieur au niveau de la gouttière rétromalléolaire interne a récemment été proposé. La fréquence utilisée est de 10 Hz. Les résultats suggèrent un effet objectif sur les paramètres urodynamiques. Les auteurs considèrent que ces résultats sont un argument encourageant pour proposer la stimulation du nerf tibial postérieur comme modalité de traitement dans la pratique clinique [40].

## Muscle dénervé : électrodiagnostic

La rhéobase et la chronaxie ont été définies plus haut. L'électrodiagnostic de stimulation est fondé sur l'étude de la chronaxie. Il se pratique sur tout muscle atteint de dénervation et met en évidence l'interruption de la conductibilité nerveuse au niveau du neurone moteur périphérique. Cet examen simple, indolore et non invasif permet d'évaluer la dénervation, d'instaurer le traitement, puis de suivre l'évolution.

Après la dénervation du tibial antérieur du lapin, la rhéobase augmente transitoirement alors que la chronaxie augmente pendant les 2 premières semaines et reste élevée [41].

## Mesure de la rhéobase

La rhéobase est l'intensité minimale d'une impulsion à début brusque et de durée infinie atteignant le seuil de l'excitation.

On utilise des impulsions rectangulaires dont la durée est de 100 ou 300 ms et qui sont isolées, c'est-à-dire dont l'espace-ment, supérieur à 1 seconde, est tel que les réponses musculaires soient de simples secousses élémentaires séparées par des intervalles réguliers. L'intensité est augmentée progressivement jusqu'au seuil de la réponse. La rhéobase se mesure en milliam-pères (mA) et va permettre de mesurer la chronaxie.

## Mesure de la chronaxie

La chronaxie est la durée minimale d'une impulsion rectangulaire d'intensité double de la rhéobase nécessaire pour atteindre le seuil de l'excitation.

On utilise des impulsions rectangulaires, isolées, dont l'intensité est double de la rhéobase. La durée d'impulsion est augmentée progressivement de 100  $\mu$ s à 100 ms jusqu'au seuil de la réponse. La chronaxie se mesure en millisecondes (ms) ou en microsecondes ( $\mu$ s).

## Résultats

La chronaxie d'un muscle normalement innervé est inférieure à 1 ms : de 100 à 600  $\mu$ s. L'augmentation de la chronaxie au-dessus de 5 ms traduit une dénervation totale [42].

La fibre musculaire normalement innervée répond à une impulsion de brève durée (< 1 ms) par une contraction rapide.

La fibre musculaire dénervée ne répond qu'à une impulsion de longue durée, d'autant plus longue que la chronaxie est élevée, par une contraction lente.

**Réaction de dégénérescence.** La réaction de dégénérescence, ou réaction de ralentissement, est un ensemble de phénomènes qui traduisent l'interruption de la conductibilité nerveuse au niveau du neurone moteur périphérique :

- inexcitabilité du nerf aux impulsions de brève ou de longue durée ;
- inexcitabilité du muscle aux impulsions de brève durée ;
- réponse lente du muscle aux impulsions de longue durée ;
- réaction longitudinale.

**Réaction longitudinale.** La réaction longitudinale est une excitabilité plus grande du muscle dénervé aux impulsions de longue durée lorsque l'on place les deux électrodes à ses extrémités.

## Muscle dénervé : traitement

### Indications : intérêt et limites de l'électrostimulation

Les causes des atteintes des nerfs périphériques sont multiples : polynévrites, polyradiculonévrites, multinévrites, maladies du motoneurone  $\alpha$ , compressions ou traumatismes des nerfs, lésions postradiques...

La dénervation entraîne une paralysie flasque et une atrophie sévère des muscles qui amènent à considérer l'intérêt de la stimulation électrique pour récupérer leur fonction [43]. L'électrostimulation doit être adaptée aux caractéristiques du muscle dénervé [44-49].

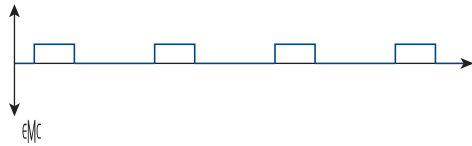
L'électrostimulation du muscle dénervé se pratique pendant la phase de paralysie périphérique, jusqu'à la réinnervation, pour prévenir l'atrophie et la fibrose dues à l'inactivité musculaire. Son intérêt est discuté. Plusieurs auteurs font état de résultats favorables sur la trophicité musculaire [50], sur la densité osseuse [51], sur la vitesse de conduction et sur la période réfractaire [52]. Selon d'autres auteurs, elle ne présente pas d'intérêt.

Les électrodes peuvent être implantées chirurgicalement. Chez un jeune homme présentant une lésion de la moelle épinière avec dénervation partielle des extenseurs du genou, la stimulation électrique a été pratiquée avec une électrode percutanée implantée près du nerf fémoral. La circonférence de la cuisse a été améliorée, cependant les résultats ne se maintiennent pas après l'arrêt du traitement [53].

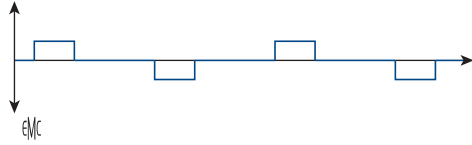
### Paramètres des impulsions

Dans le cas de dénervation périphérique, on utilise des impulsions :

- unidirectionnelles à polarité fixe (Fig. 16) ou à polarité alternée pour diriger la stimulation prédominante tour à tour sur les deux électrodes (Fig. 17) ;
- isolées, c'est-à-dire séparées par des espacements d'au moins une seconde, et ce temps de repos doit être d'autant plus long que la chronaxie est augmentée ;
- rectangulaires, plus efficaces avec une intensité moindre et donc mieux tolérées ;



**Figure 16.** Impulsions unidirectionnelles à polarité fixe. Impulsions isolées de longue durée destinées à la stimulation du muscle dénervé.



**Figure 17.** Impulsions à polarité alternée. Impulsions isolées de longue durée destinées à la stimulation du muscle dénervé.



**Figure 18.** Électrostimulation des muscles releveurs du pied. Dans le cas de dénervation, on pratique une stimulation longitudinale avec des impulsions isolées de longue durée.

- de longue durée, 5 à 100 ms, adaptées à l'augmentation de la chronaxie.

La durée d'impulsion doit être suffisante pour contracter, mais on recherche néanmoins la plus brève durée efficace afin de respecter le confort du patient.

#### Protocole d'électrostimulation

Les électrodes sont appliquées longitudinalement sur le muscle [54], en cherchant les zones où on obtient la meilleure réponse pour une intensité donnée (Fig. 18, 19). Afin d'éviter les effets nocifs dus à un excès de stimulations, on pratique moins de 10 impulsions par jour et par muscle.

Au décours, on observe une diminution progressive de la chronaxie et on réduit proportionnellement la durée de l'impulsion. Lorsque la réinnervation se produit, la contraction active apparaît puis augmente graduellement. À ce stade, on remplace progressivement l'électrostimulation par la rééducation active.

Les courants téтанisants (20 à 80 Hz) étant formellement contre-indiqués sur les fibres musculaires dénervées, on ne les applique pas, même à ce stade, afin de ne pas entraver la réinnervation des dernières unités motrices.

#### Techniques complémentaires

**Contraction active ou mouvement imaginé.** Afin d'entretenir le schéma moteur, le patient doit accompagner les stimulations électro-induites :

- d'une contraction active si le muscle n'est que partiellement dénervé ;



**Figure 19.** Électrostimulation des muscles épicondyliens. Dans le cas de dénervation, on pratique une stimulation longitudinale avec des impulsions isolées de longue durée.

- d'un mouvement imaginé si le muscle est totalement dénervé.

**Mobilisation passive.** Les mobilisations passives, notamment les étirements modérés, et l'électrostimulation se complètent dans le traitement prophylactique de la fibrose.

#### Précautions

Vu les risques de brûlure chimique des tissus, l'application de courants unidirectionnels impose au praticien :

- le strict respect du protocole défini ci-dessus et des contre-indications ;
- un examen attentif de l'état de la peau sous les électrodes et une surveillance constante ;
- l'utilisation exclusive d'électrodes recouvertes d'un sachet spongieux correctement humidifié ;
- l'exclusion de tous les autres types d'électrodes, et notamment des électrodes autocollantes.

### “ Points essentiels

L'électrostimulation du muscle dénervé demande de respecter le protocole suivant :

- la durée de l'impulsion rectangulaire doit être suffisamment longue pour stimuler la fibre musculaire dénervée, mais doit être limitée à la durée efficace pour être bien tolérée ;
- le nombre de stimulations doit être inférieur à 10 par jour et par muscle ;
- l'électrostimulation doit être accompagnée d'une contraction volontaire ou d'un mouvement imaginé ;
- l'électrostimulation doit être complétée par des mobilisations passives prudentes.

## Électrostimulation et douleur

La douleur est une expérience sensorielle et émotionnelle désagréable correspondant à une lésion tissulaire ou exprimée en termes d'une telle lésion (International Association for the Study of Pain [IASP]).

## Bases fondamentales de neurophysiologie

### Voies de la nociception

**Récepteurs périphériques.** Ces récepteurs se situent au niveau de la peau, des muscles, des viscères et des articulations. Une stimulation nociceptive (mécanique, thermique, chimique) entraîne une excitation des terminaisons libres A $\delta$  (peu myélinisées) et C (non myélinisées) qui sont de petit calibre et à conduction nerveuse lente. Cette excitation se transmet par l'intermédiaire de nombreuses substances algogènes, dont la substance P [55].

**Corne postérieure de la moelle.** Par le nerf périphérique, l'influx nociceptif gagne la corne postérieure de la moelle où il se connecte avec d'autres neurones qui vont constituer les voies ascendantes. C'est là que sont situés les neurones dits convergents recevant des informations sensibles, venant de structures cutanées, musculaires, articulaires ou viscérales. La corne postérieure est un endroit stratégique pour le contrôle de la douleur [56].

**Faisceaux ascendants.** Le faisceau spinothalamique direct va de la corne postérieure vers le thalamus latéral et se poursuit vers les aires corticales sensibles primaires. Il assurerait l'aspect sensoridiscriminatif de la douleur.

Le faisceau spino-réticulo-thalamique va de la corne postérieure vers le thalamus médian, via le système réticulé, et se poursuit par des projections corticales beaucoup plus diffuses. Il assurerait l'aspect émotionnel de la douleur et l'ajustement des réactions comportementales.

Les influx qui parcourent les nerfs périphériques et la moelle constituent la nociception. La douleur est une intégration au niveau cortical de l'expérience sensorielle née de ces influx et de phénomènes émotionnels. L'électrostimulation a un effet antalgique par filtrage des influx nociceptifs.

### Mécanismes inhibiteurs segmentaires spinaux et supraspinaux

Au niveau segmentaire, c'est le contrôle de la porte ou *gate control*. Il s'agit d'une inhibition de la transmission des fibres nociceptives de petit calibre (A $\delta$  et C), par l'activation des fibres sensibles cutanées de gros calibre (A $\beta$ ) impliquées dans le tact et la proprioception. Cette inhibition a lieu au niveau de la corne postérieure de la moelle (Fig. 20) [58, 59]. La neurostimulation transcutanée met en jeu ce contrôle lorsqu'on utilise des paramètres destinés à stimuler exclusivement les fibres A $\beta$  [60].

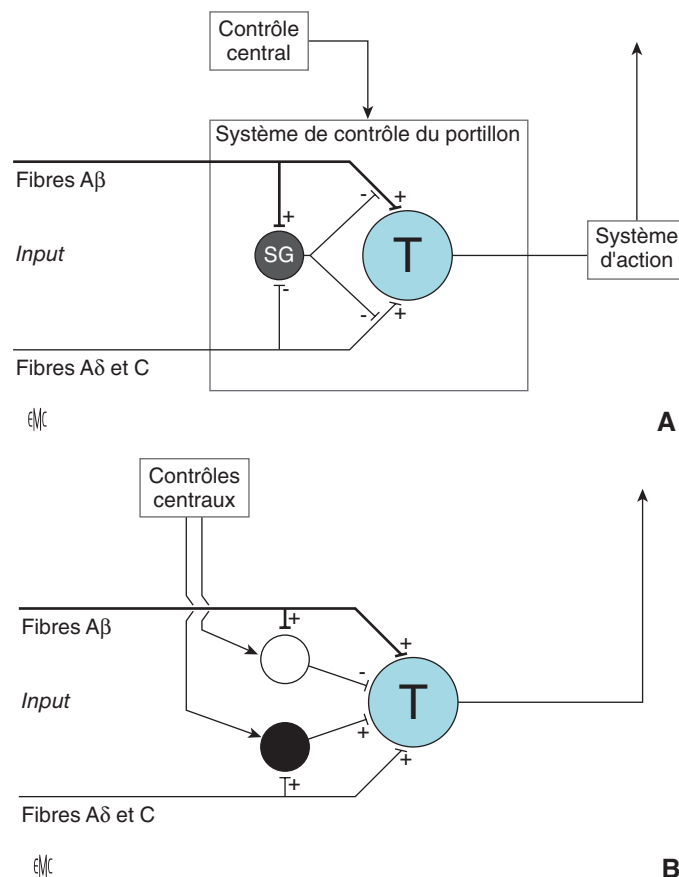
Au niveau supraspinal, plusieurs zones du tronc cérébral et de l'encéphale sont à l'origine de voies inhibitrices descendantes dont la destination finale est la corne postérieure de la moelle [61]. On active certaines de ces voies en stimulant directement les cordons postérieurs de la moelle (neurostimulation médullaire).

D'autres circuits neuronaux exercent un effet modulateur sur la perception de la douleur. C'est le cas des contrôles inhibiteurs diffus nociceptifs (CIDN), induits par la stimulation nociceptive. Il s'agit d'une boucle spino-bulbo-spinale, comprenant la substance réticulée bulbaire. Les CIDN ont un rôle de filtre sur le « bruit de fond » issu des neurones convergents lorsque survient une douleur plus aiguë. Ils expliquent probablement qu'une douleur sévère masque des douleurs modérées [62-64].

D'autre part, il y a des connexions avec le cortex frontal, préfrontal et cingulaire, mettant en jeu l'attention et l'émotion dans l'intégration du message nociceptif.

### Rôle des endorphines

Le rôle des endorphines, dans la modulation du message nociceptif, se joue à plusieurs niveaux. Il y a, au niveau de la corne postérieure de la moelle, des interneurones sécrétant des endorphines. Ces neurotransmetteurs jouent un rôle inhibiteur. Les récepteurs endorphiniques peuvent être stimulés par certains courants à effets antalgiques, soit par une stimulation métamérique, soit par une stimulation à distance : ils sont alors



**Figure 20.** Théorie du portillon (*gate control*) au niveau de la corne postérieure de la moelle.

**A.** Description initiale par Melzack et Wall (1965). Les informations issues de la périphérie (*input*) vers les neurones convergents (T = *triggers cells*) au niveau de la corne postérieure profonde, sont « filtrées » par des interneurones de la substance gélatineuse (SG), qui exercent un effet inhibiteur présynaptique. L'activation des fibres A $\beta$  augmente l'activité de ces interneurones et tend à fermer le portillon ; l'activation des fibres A $\delta$  et C déprime ce tonus inhibiteur et tend à ouvrir le portillon. Ces mécanismes sont soumis à des contrôles d'origine supraspinale.

**B.** Modification par Wall (1978). Pas de modification du concept d'ensemble. Les interneurones SG sont remplacés par un couple de neurones inhibiteur (cercle blanc) et excitateur (cercle noir) qui sont eux-mêmes soumis à l'influence de contrôles d'origine centrale (d'après [57]).

probablement activés par certaines voies bulbospinales, descendantes et opioïdiques, dont les effets sont abolis après administration de naloxone.

## Mécanismes générateurs de la douleur

### Douleurs neurogènes

Anciennement appelées douleurs de désafférentation, les douleurs neurogènes, qu'on appelle également douleurs neuropathiques, surviennent en cas de lésion du système nerveux périphérique ou central. Elles sont toujours chroniques (> 3 mois).

Le mécanisme de la douleur est d'origine centrale, à opposer aux douleurs par excès de nociception. Une lésion ou section des afférences périphériques peut être à l'origine d'altérations locales : activité électrique anormale (décharges ectopiques spontanées ou provoquées), sensibilisation des récepteurs de la nociception (diminution du seuil et augmentation des réponses aux stimulations), interactions entre fibres par contiguïté (éphapses).

Secondairement, les neurones des relais spinaux ou supraspinaux peuvent devenir hyperexcitables par des mécanismes encore imparfaitement élucidés. La persistance et l'autonomisation de ces mécanismes centraux seraient à l'origine des

douleurs neurogènes chroniques et de leur sémiologie caractéristique : hyperalgésie, allodynie, hyperpathie...

L'origine neurogène de la douleur est aisément identifiée dans un contexte connu d'atteinte neurologique. Un questionnaire de 10 items intitulé « DN4 » aide à identifier les caractéristiques sémiologiques particulières des douleurs neurogènes [65].

### Douleurs par excès de nociception

Souvent aiguës, elles sont dues à une excitation par un processus inflammatoire ou post-traumatique de récepteurs nociceptifs.

L'excès de stimulations nociceptives sous-tend la majorité des douleurs aiguës et un certain nombre de douleurs chroniques. La douleur s'exprime sur un plan sémiologique selon un rythme mécanique (augmentation de la douleur par l'activité physique) ou inflammatoire. L'examen clinique retrouve ce facteur mécanique de déclenchement.

Au niveau périphérique, un processus pathologique active le système physiologique de transmission des messages nociceptifs. L'information, née au niveau des récepteurs, est transmise par des fibres nerveuses de petit calibre vers la corne postérieure de la moelle, puis vers les structures centrales, médullaires et supraspinales. D'un point de vue thérapeutique, il est légitime d'agir sur le processus causal périphérique lui-même (traitement étiologique) ou d'en limiter les effets excitateurs, en utilisant des antalgiques agissant en périphérie ou au niveau du système nerveux central, ou encore de chercher à interrompre les messages aux divers étages de la transmission périphérique ou centrale (blocs anesthésiques, sections chirurgicales).

### Douleurs symptômes médicalement non expliquées

Certaines entités pathologiques sont reconnues sans que nous en ayons une compréhension satisfaisante ou des critères diagnostiques incontestables. Leur identification permet cependant une reconnaissance du trouble, essentielle au contrat thérapeutique. On peut citer la fibromyalgie (douleurs diffuses invalidantes avec cortège de troubles fonctionnels), la glossodynie...

Il s'agit dans ces cas d'accompagner un patient - reconnu comme malade - mais sans pouvoir s'appuyer sur un consensus diagnostique ni thérapeutique clairement établi.

### Douleurs avec dysfonctionnement du système nerveux sympathique

Il s'agit d'un syndrome douloureux régional complexe (SDRC), anciennement appelé algodystrophie, associant enraidissement articulaire, modifications vasomotrices cutanées, déminéralisation osseuse et hyperalgésie dans un segment somatique étendu autour du site initial de la lésion tissulaire. Il peut survenir après un traumatisme, une lésion nerveuse ou une contusion initialement peu significative [57].

### Douleurs de mécanismes générateurs associés

De nombreuses situations cliniques réalisent des douleurs dont le mécanisme n'est pas univoque.

### Douleurs psychogènes

Elles n'ont pas d'explication somatique satisfaisante. Elles sont liées à une perturbation psychopathologique associée. Le diagnostic de douleur psychogène repose sur la mise en évidence d'une sémiologie psychopathologique. Dans tous les cas, il s'agit bien d'une douleur exprimée en termes d'une lésion tissulaire [66].

Une récapitulation des différents types de douleurs [67, 68], de leur mécanisme générateur et de leur localisation permet de déterminer le traitement par électrostimulation le mieux adapté (Tableau 2).

## Topographie de la douleur

La systématisation du système nerveux et le fonctionnement des neurones convergents au niveau de la corne postérieure de la moelle ont pour effet que certaines douleurs sont ressenties :

- soit à distance de leur site lésionnel générateur, par exemple au genou pour une douleur de hanche ;
- soit principalement dans la zone de projection sur le revêtement cutané des fibres nerveuses issues du site générateur, par exemple douleurs lombaires basses dues à un syndrome de la charnière dorsolombaire (arthrose interapophysaire postérieure).

### Douleur directe

La douleur directe est ressentie de façon primaire au niveau du site lésionnel.

### Douleur projetée

On doit distinguer douleur rapportée et douleur référée (Fig. 21).

**Douleur rapportée.** La douleur rapportée est due à des influx nociceptifs qui prennent naissance d'un foyer lésionnel situé sur les voies périphériques ou centrales qui transmettent des messages douloureux. La douleur est ressentie comme provenant du champ périphérique correspondant, cutané ou sous-cutané. Par exemple, la douleur sciatique par compression radiculaire.

**Douleur référée.** La douleur référée correspond à une dissociation topographique entre la zone périphérique, où la sensation douloureuse est faussement localisée, et le foyer réel de souffrance tissulaire [60].

Généralement cette projection s'explique par une concordance métamérique et un décalage anatomique entre le dermatome, le myotome et le viscérotome d'un même segment médullaire. La douleur de l'avant-bras lors d'une lésion du myocarde et la douleur scapulaire lors d'une lésion vésiculaire sont des exemples de douleurs référées.

**Points gâchettes.** La recherche des points gâchettes s'intègre dans une sémiologie palpatoire des douleurs musculoaponévrotiques. Il s'agit du point le plus sensible du muscle dont la stimulation avec un certain degré de pression digitale réveille la douleur spontanée du patient et reproduit parfois la douleur référée aux territoires périphériques voisins [69].

L'application thérapeutique est fondamentale : c'est en traitant ces points gâchettes (massages profonds, cryothérapie, injections locales d'anesthésiques locaux, électrostimulation, vibrations mécaniques) que l'on traite la douleur ressentie principalement à distance, c'est-à-dire référée.

Des points gâchettes fessiers donnent lieu à des pseudosciatiques. Des points gâchettes dans le trapèze donnent lieu à des pseudonévralgies cervicobrachiales. Certaines céphalées de tension s'accompagnent de points gâchettes à l'insertion des muscles péricrâniens. La douleur des coxarthroses comporte une composante musculoaponévrotique avec points gâchettes musculaires.

## Différentes composantes de la douleur

Que la douleur soit aiguë ou chronique, quatre composantes sont à considérer qui en font une expérience multifactorielle. Toutes ces composantes doivent être connues et prises en compte afin d'éviter une chronicisation.

### Composante sensoridiscriminative

C'est bien sûr celle qui fait généralement l'objet de l'évaluation la plus complète par la clinique et les investigations complémentaires. Cette enquête précise non seulement la lésion responsable mais la qualité, l'intensité, le rythme, les facteurs d'amélioration et d'aggravation de la douleur qui contribuent à guider le traitement symptomatique.

**Tableau 2.**

Douleurs : mécanismes générateurs, localisation et électrostimulation.

Mécanismes générateurs	Douleurs	Localisation	Électrostimulation
Douleurs neurogènes	Lombosciatique opérée Plaies des nerfs Douleurs postzostériennes Neuropathies diabétiques Cicatrices anciennes Fibroarthroses lombaires Membre fantôme Paraplégies Certaines séquelles chirurgicales Plexite postradique Lésions nerveuses liées au cancer	Douleurs localisées	Courants BF BI Antalgiques par <i>gate control</i>
Douleurs par excès de nociception	Arthrites Tendinites aiguës, tendinopathies Entorses, élongations Névralgies : sciatalgies (à distinguer des sciatiques opérées), cruralgies, meralgies paresthésiques, névralgies cervicobrachiales Compressions d'origine tumorale Douleurs générées par les postures et mobilisations Rachialgies : lombalgies, dorsalgies, cervicalgies Arthroses du rachis ou des membres Douleurs musculoaponévrotiques satellites des arthroses ou post-traumatiques Douleurs pariétales postopératoires modérées [67] Séquelles fonctionnelles douloureuses des symphyses pleurales Douleurs de sièges multiples	Douleurs diffuses	Courants TBF IE Antalgiques par libération d'endorphines
Douleurs symptômes médicalement non expliquées	Fibromyalgie, anciennement appelée syndrome polyalgique idiopathique diffus (SPID)		
Douleurs avec dysfonctionnement du système nerveux sympathique	Syndrome douloureux régional complexe (SDRC), anciennement appelé algodystrophie [68]	Douleurs mixtes : localisées et diffuses	Courants combinés BF BI + TBF IE Antalgiques par <i>gate control</i> et par libération d'endorphines
Douleurs de mécanismes générateurs associés	Douleurs neurogènes liées à une plaie de nerf et douleurs par excès de nociception liées aux lésions articulaires ou musculaires associées Douleurs pariétales postchirurgicales d'origine neurogène (cicatrice) et nociceptive (musculosquelettique)		
Douleurs psychogènes	Dépression, trouble anxieux Trouble somatoforme douloureux Conversion hystérique, hypocondrie...		Électrostimulation non indiquée

### Composante affective et émotionnelle

La dépression est fréquente et estimée à 30-50 % dans toutes les pathologies douloureuses persistantes (non cancéreuses) recensées dans les centres de traitement de la douleur. Elle peut expliquer la résistance aux autres thérapeutiques et influencer sur le comportement douloureux.

L'existence de troubles de la personnalité associés peut contribuer à la pérennisation de la douleur. Il faut en tenir compte lorsqu'on définit le programme thérapeutique. Un avis psychiatrique est alors d'autant plus indispensable tant au plan diagnostique que thérapeutique.

### Composante cognitive

Elle fait référence à la façon dont le patient se représente la cause de sa douleur et conditionne en partie son attitude vis-à-vis de la douleur. Elle intègre les problèmes douloureux antérieurs que le patient a pu expérimenter lui-même ou observer dans son entourage : leur durée, leur sensibilité au traitement, l'appréhension qu'elles ont pu engendrer vis-à-vis de la maladie.

On découvre souvent :

- le désarroi qu'ont pu générer des avis successifs discordants ;
- la conviction que toute douleur persistante témoigne d'un processus pathologique évolutif susceptible d'empirer ; par

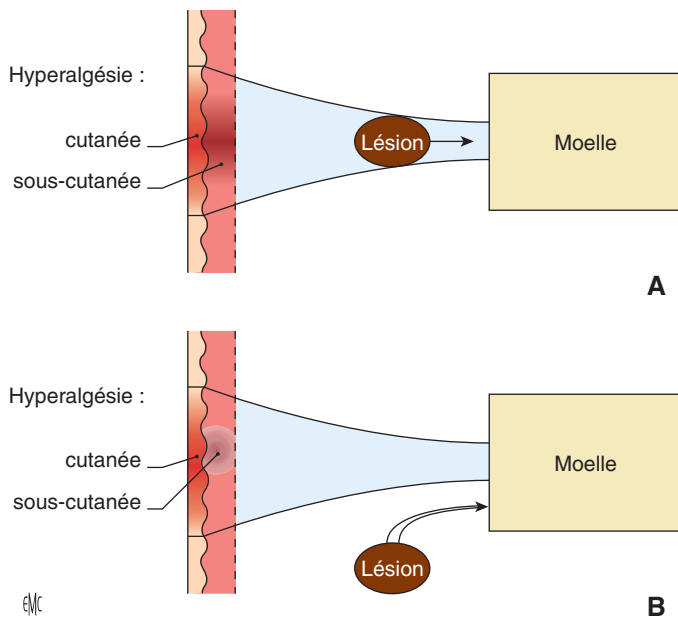
exemple, le lombalgique chronique craint l'évolution vers la paralysie des membres inférieurs et le fauteuil roulant ;

- les arrière-pensées, les interprétations erronées qui doivent être exprimées, clarifiées car elles alimentent souvent l'angoisse du patient.

La reformulation de la situation aide le patient à adopter un comportement plus adapté vis-à-vis de sa douleur. Les stratégies adaptatives, ou « coping », sont une cible privilégiée de l'accompagnement cognitivocomportemental du patient douloureux chronique [70].

### Composante comportementale

Il est utile de repérer les diverses manifestations motrices ou verbales témoignant de la douleur lors de l'entretien, lors de l'examen clinique, dans les situations statiques et dynamiques : mimiques, soupirs, attitudes antalgiques, limitations des mouvements, attitudes guindées. Ceux-ci peuvent en effet être considérés dans certaines situations de douleurs chroniques comme un élément « parasite », non strictement corrélé à la déficience du malade mais majorant son handicap. La kinésiophobie et de nombreux évitements doivent être considérés sous cet angle. C'est dans cette optique que sont proposées des



**Figure 21.** Douleur projetée.

**A.** Douleur rapportée. La douleur est perçue comme provenant du champ périphérique cutané (hachures) ou sous-cutané (pointillés), alors que le foyer lésionnel est situé sur le cheminement des voies nociceptives.

**B.** Douleur référée. La sensation douloureuse est faussement localisée dans une zone périphérique dont l'innervation est bien distincte de celle du foyer lésionnel (muscle, articulation, ou viscère), mais qui converge au même niveau sur la moelle (d'après [60]).

thérapies comportementales. Le reconditionnement à l'effort de ces patients fait intervenir des techniques spécifiques de kinésithérapie [71].

## Électrostimulation antalgique et rééducation

Le **Tableau 2** résume les différentes douleurs susceptibles de bénéficier d'électrostimulation.

Les courants antalgiques facilitent la rééducation fonctionnelle et optimisent ses résultats. Ils concourent à limiter l'anxiété d'anticipation qui accompagne certaines séances de kinésithérapie. Ils doivent être appliqués en position corrigée afin de ne pas conforter le patient dans son attitude vicieuse.

La douleur doit être évaluée par le patient afin de mesurer l'efficacité de la stimulation. À cet effet, on peut utiliser l'échelle numérique ou l'échelle visuelle analogique.

L'évaluation de la douleur doit être pratiquée immédiatement avant et immédiatement après l'électrostimulation antalgique afin de ne considérer que son seul résultat et d'écarter les effets des autres techniques de rééducation et des autres facteurs de sédation de la douleur (guérison spontanée, conseils d'hygiène de vie, médicaments...).

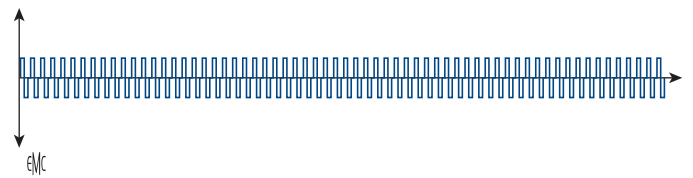
Les conditions d'exploration de la douleur (position du sujet, amplitude articulaire...) doivent être rigoureusement identiques avant et après le traitement. À défaut, les résultats de l'évaluation ne seraient pas comparables.

La durée des effets antalgiques dépend de nombreux facteurs parmi lesquels les moyens mis en œuvre : rééducation fonctionnelle et proprioceptive, éducation posturale, prophylaxie, ergonomie...

Les centres spécialisés de traitement de la douleur et certains centres de rééducation peuvent proposer au patient de bénéficier d'une neurostimulation ambulatoire, pendant 2 à 10 heures par jour, qui facilite la reprise d'activités antérieures avec un minimum de douleur [72, 73].

Il faut insister auprès des patients pour que le soulagement obtenu pendant l'électrostimulation soit mis à profit pour s'engager dans des activités qui n'auraient pas été possibles du fait de la douleur.

Le patient doit développer une méthode active d'autocontrôle de sa douleur (relaxation, respiration profonde, correction de



**Figure 22.** Courants BF BI. Courants de basse fréquence et de basse intensité : *gate control*.

l'attitude vicieuse...) et ne pas se confiner dans une attitude passive basée sur la seule électrostimulation.

La neurostimulation électrique transcutanée, appelée TENS (*transcutaneous electrical nerve stimulation*) dans les pays anglo-saxons, consiste à appliquer sur la peau un courant destiné à stimuler les fibres nerveuses sensibles sous-jacentes dans un but antalgique. TENS désigne toutes les techniques décrites dans les paragraphes suivants.

## Programmes d'électrostimulation antalgique

### Courants BF BI antalgiques par « gate control »

**Gate control : inhibition sensitive segmentaire.** Ce type de stimulation destiné à mettre en jeu le *gate control* produit une inhibition sensitive segmentaire, c'est-à-dire circonscrite au niveau de l'étage médullaire considéré [72].

**Paramètres et protocole.** Les paramètres des impulsions du courant de basse fréquence et de basse intensité (Fig. 22) et le protocole de stimulation sont adaptés à l'effet recherché [74-77].

Très brève durée d'impulsion ( $\leq 100 \mu\text{s}$ ) et intensité faible ne produisant que des paresthésies (ou fourmillements) pour stimuler les fibres A $\beta$  sans stimuler les fibres A $\delta$  et C.

Basse fréquence comprise entre 50 et 100 Hz, les fréquences supérieures à 150 Hz n'ayant plus d'effet de stimulation [20].

Impulsions rectangulaires, bidirectionnelles à moyenne nulle, pour permettre de pratiquer une séance efficace confortable et sûre d'une durée de 20 à 30 minutes en cas d'application au cours d'une séance de rééducation, ou de 2 à 10 heures par jour en cas de traitement ambulatoire avec un stimulateur portatif, sans risque de brûlure chimique. Vu la durée de la séance et la faible intensité de la stimulation, il est nécessaire de moduler les paramètres des impulsions pour repousser l'accoutumance qui diminue les effets antalgiques.

Électrodes sur le site de la douleur afin d'acheminer la stimulation au niveau de l'étage médullaire considéré.

**Critères d'efficacité : séance-test.** Le courant doit être bien perçu.

Certaines zones dénervées ne permettent pas de percevoir le courant et sont une contre-indication, à moins d'appliquer le courant dans un métamère voisin.

Certaines zones hyperalgiques ou allodymiques qui produisent une exacerbation de la douleur lors du passage du courant sont contre-indiquées.

Les « paresthésies », ou fourmillements, produits par la stimulation doivent recouvrir la zone douloureuse spontanée.

Pendant le passage du courant, la douleur doit être masquée, moins intense ou non perçue [78].

Indications : douleurs localisées.

Douleurs neurogènes localisées (Fig. 23).

Douleurs par excès de nociception localisées (Fig. 24, 25, 26).

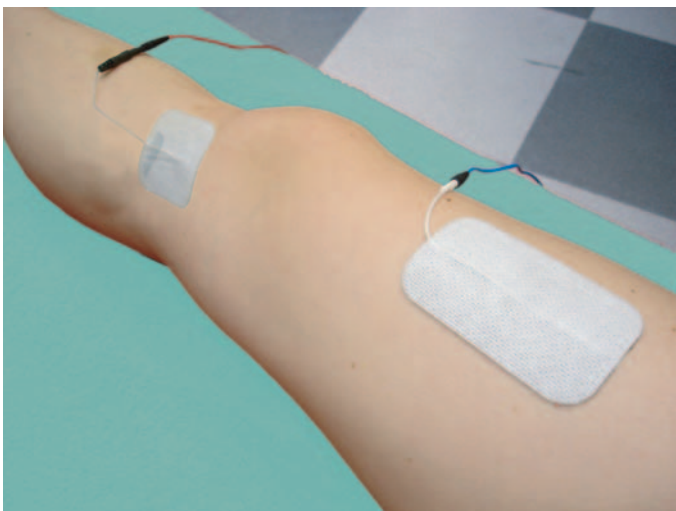
### Courants TBF IE antalgiques par libération d'endorphines

**Modifications plasmatiques des  $\beta$ -endorphines : inhibition sensitive suprasegmentaire.** Un dosage de  $\beta$ -endorphines a été effectué sur 27 sujets de 18 à 28 ans, avant et après une électrostimulation à la fréquence de 4 Hz, avec une intensité élevée capable de produire des contractions musculaires de type secousses élémentaires, avec de grandes électrodes lombaires ( $100 \text{ cm}^2 \times 2$ ), pendant 30 minutes.

Après 30 minutes de stimulation, ces auteurs ont constaté une augmentation de 22 % du taux des  $\beta$ -endorphines par



**Figure 23.** Douleurs après plaie du nerf médian. Électrodes de petite surface sur les points douloureux, au niveau de la face antérieure de l'avant-bras. Courant BF BI antalgique par *gate control* : masquage de la douleur neurogène.



**Figure 24.** Tendinite de la patte d'oie. Électrode active de petite surface sur le point douloureux, électrode indifférente de grande surface. Courant BF BI.

rapport au taux basal. Et 30 minutes après l'arrêt de la stimulation, ces taux étaient encore supérieurs à 20 %.

- Cette étude a été répétée dans des conditions différentes :
- à la fréquence de 50-100 Hz ;
  - à la fréquence de 4 Hz, mais avec des électrodes de petite surface (6 électrodes, Ø 2 cm).

Dans les deux cas, aucune modification du taux des  $\beta$ -endorphines n'a été observée [79].

Ce travail met en évidence l'intérêt antalgique des très basses fréquences (4 Hz) et des électrodes de grande surface, intérêt largement confirmé en pratique courante.

Ce type de stimulation destiné à libérer des endorphines produit une inhibition sensitive suprasegmentaire, c'est-à-dire au niveau des centres nerveux supérieurs.

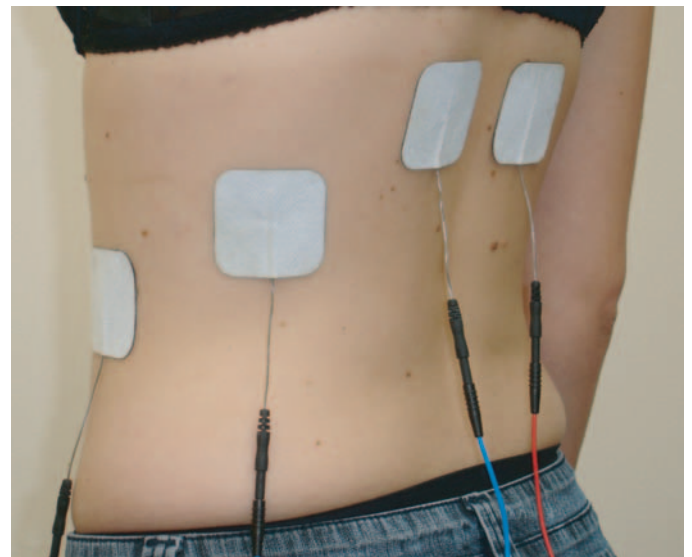
**Paramètres et protocole.** Les paramètres des impulsions du courant de très basse fréquence (< 10 Hz) et d'intensité élevée (Fig. 27) ainsi que le protocole de stimulation sont adaptés à l'effet recherché [74-77].

Durée d'impulsion augmentée (0,2 à 2 ms) et intensité plus élevée produisant des secousses élémentaires afin de stimuler les fibres A $\delta$  et C.

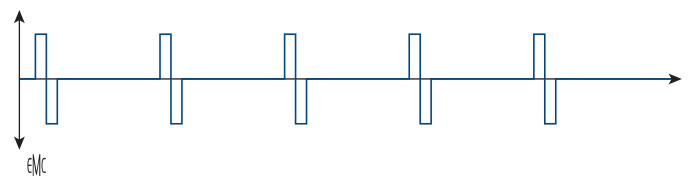
Fréquence de 2 à 8 Hz, la fréquence de 4 Hz semble bien adaptée, pour augmenter le taux des  $\beta$ -endorphines, les fréquences de 50-100 Hz s'étant révélées inefficaces.



**Figure 25.** Névralgie : cruralgie. Électrodes de petite surface sur la zone douloureuse et au niveau du rachis correspondant. Courant BF BI.



**Figure 26.** Névralgie intercostale. Électrodes de petite surface sur la zone douloureuse et au niveau du rachis correspondant. Courant BF BI.



**Figure 27.** Courants TBF IE. Courants de très basse fréquence et d'intensité élevée : libération d'endorphines.

Impulsions rectangulaires, bidirectionnelles à moyenne nulle, pour permettre de pratiquer une séance efficace et confortable d'une durée minimale de 30, voire 40 minutes sans risque de brûlure chimique des tissus.

Électrodes de grande surface (~150 cm<sup>2</sup> × 2), recouvertes d'un sachet spongieux humidifié puis d'un non-tissé à usage unique, et appliquées sur le rachis et/ou sur le site de la douleur.

**Critères d'efficacité : séance-test.** Le courant doit être perçu intensément, mais non douloureux, sur toute la superficie de



**Figure 28.** Lumbalgie, rachialgies. Électrodes d'une longueur minimale de 20 cm et d'une surface minimale de 100 cm<sup>2</sup> chacune, placées de chaque côté du rachis lombaire, le long des muscles spinaux. Patient installé sur les électrodes afin que son poids favorise le contact sur toute la surface des spongieux. Les membres inférieurs sont fléchis afin d'éviter la lordose lombaire. Courant TBF IE : antalgique par libération d'endorphines.

l'électrode de grande surface, ce qui présuppose l'emploi d'un générateur de puissance suffisante.

Les zones dénervées ne permettent pas de percevoir le courant et sont contre-indiquées. Si la zone de stimulation est hyperalgique, il faut déplacer légèrement les électrodes sur une zone où la stimulation est mieux tolérée.

Les secousses musculaires produites par la stimulation doivent être apparentes et nettement perceptibles.

En fin de séance, le patient doit ressentir une impression de détente et de quiétude.

La douleur doit être évaluée immédiatement avant et après la séance. L'effet antalgique doit être immédiat ou, le cas échéant, apparaître peu après la fin de la séance.

**Indications : douleurs diffuses.** Douleurs par excès de nociception diffuses : rachialgies (Fig. 28), séquelles pleurales (2 Hz : effet antalgique + assouplissement), douleurs de sièges multiples...

Fibromyalgie.

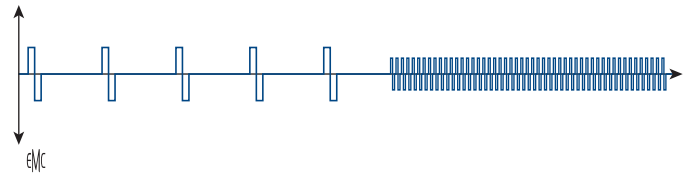
## “ Point essentiel

L'électrostimulation antalgique par libération d'endorphines est d'une efficacité remarquable si toutefois on respecte les paramètres des impulsions, les modalités d'application et notamment la surface de chaque électrode qui doit être supérieure à 100 cm<sup>2</sup>.

**Application particulière.** Les courants de très basse fréquence générés par des appareils portatifs de faible puissance sont également utilisés avec des impulsions de très brève durée et de petites électrodes. Cette modalité de stimulation produit des secousses élémentaires et permet d'obtenir des résultats antalgiques réels, notamment sur les contractures et les points gâchettes. Néanmoins, on peut s'interroger sur les mécanismes de cette antalgie et être perplexe sur la libération de substances morphinomimétiques vu la durée des impulsions et la très faible surface des électrodes.

### Courants composés BF BI et TBF IE : électrostimulation antalgique combinée

**Gate control et libération d'endorphines.** Pour associer les effets des deux types de stimulation, *gate control* et libération



**Figure 29.** Courants composés. Séquences récurrentes de TBF IE et de BF BI.

d'endorphines, il est possible de combiner des courants de basse fréquence et de très basse fréquence de différentes manières :

- séquences récurrentes de TBF IE et de BF BI (Fig. 29) ;
- wobulation de TBF IE en BF BI, l'intensité et la durée d'impulsion variant inversement à la fréquence ;
- stimulation concomitante de TBF IE et de BF BI avec deux générateurs distincts ;
- stimulation polyvalente par courants composites à double fréquence [80].

**Paramètres et protocole.** Les paramètres des impulsions courants composés de plusieurs fréquences et durées d'impulsion (Fig. 29) ainsi que le protocole de stimulation sont adaptés aux effets recherchés.

Paramètres des impulsions (fréquence, durée et intensité) identiques à ceux de chacun des deux courants décrits ci-dessus pendant leur séquence, par exemple : 4 Hz, 1 ms, intensité élevée et 60 Hz, 100 µs, intensité faible.

Impulsions rectangulaires, bidirectionnelles à moyenne nulle, pour permettre de pratiquer une séance efficace et confortable d'une durée minimale de 30 minutes sans risque de brûlure chimique des tissus.

Électrodes de grande surface (100 à 150 cm<sup>2</sup>), recouvertes d'un sachet spongieux et appliquées sur le rachis et sur le site de la douleur, sauf pour la stimulation des points gâchettes qui s'effectue avec des électrodes ponctuelles.

**Critères d'efficacité : séance-test.** Les critères d'efficacité sont ceux des deux modalités de stimulation antalgique par *gate control* et par libération d'endorphines.

**Indications : douleurs mixtes.** Rachialgies accompagnées de névralgies (lombosciatalgies, névralgies cervicobrachiales), douleurs localisées accompagnées de douleurs satellites.

Syndrome douloureux régional complexe (SDRC) [68].

Douleurs de mécanismes générateurs associés : origine neurogène et nociceptive.

## ■ Conclusion



L'électrostimulation antalgique et excitomotrice fait partie intégrante des techniques de rééducation fonctionnelle.

Dans ses différentes phases d'application, elle prépare, facilite et complète chaque séance, contribuant ainsi largement aux effets obtenus.

La sédation de la douleur est la première demande du patient et doit être le premier objectif du praticien. L'électrostimulation antalgique répond à cette demande et y participe amplement, permettant ainsi de pratiquer la rééducation dans de meilleures conditions de confort.

Le renforcement musculaire, le relâchement des contractures, l'assouplissement de la fibrose, l'amélioration des troubles trophiques bénéficient de l'électrostimulation excitomotrice, technique complémentaire qui accompagne et assiste le mouvement en rééducation fonctionnelle.



## ■ Références

- [1] Solassol A, Allas T, Benard V, Moulin M, Bouvard G, Debruyne D. Le passage dans la circulation générale de substances administrées par ionophorèse chez l'homme. *Ann Readapt Med Phys* 1986;28:395-407.
- [2] Gobelet C, Follonier A, Meylan F, Maeder E. Ionophorèse aux corticoïdes. *Cinésiologie* 1982;21:279-84.

- [3] Ludy JP, Berger D, Chantraine A. Ionisation à la cortisone : mythe ou réalité? *Rhumatologie* 1986;**38**:45-8.
- [4] Calmels P, Minaire P. L'ionisation des substances anti-inflammatoires : les facteurs de pénétration tissulaire. *Ann Readapt Med Phys* 1986;**28**: 425-33.
- [5] Nirschl RP, Rodin DM, Ochiai DH, Maartmann-Moe C. DEX-AHE-01-99 Study Group. Iontophoretic administration of dexamethasone sodium phosphate for acute epicondylitis. A randomized, double-blinded, placebo-controlled study. *Am J Sports Med* 2003;**31**:189-95.
- [6] Leduc BE, Caya J, Tremblay S, Bureau NJ, Dumont M. Treatment of calcifying tendinitis of the shoulder by acetic acid iontophoresis: a double-blind randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2003;**84**:1523-7.
- [7] Perron M, Malouin F. Acid acetic iontophoresis and ultrasound for the treatment of calcifying tendinitis of the shoulder: a randomized control trial. *Arch Phys Med Rehabil* 1997;**78**:379-84.
- [8] AFREK. *Prise en charge kinésithérapique du lombalgique. Conférence de consensus, Paris, 13 et 14 novembre 1998*. Paris: SPEK; 2000.
- [9] ANAES. *Rééducation de l'entorse externe de la cheville. Recommandations et références professionnelles*. Paris: ANAES; Janvier 2000.
- [10] Haulot A, Chiezza G, Ménager D. Traitement de l'hyperhidrose du moignon par iontophorèse. À propos de 31 cas. In: Simon L, Pélissier J, Hérisson C, editors. *Actualités de rééducation fonctionnelle et réadaptation*. Paris: Masson; 1992. p. 100-4.
- [11] Gillick BT, Klothe LC, Starsky A, Cincinelli-Walker L. Management of postsurgical hyperhidrosis with direct current and tap water. *Phys Ther* 2004;**84**:262-7.
- [12] Sato K, Timm DE, Sato F, Templeton EA, Meletiou DS, Toyomoto T, et al. Generation and transit pathway of H<sup>+</sup> is critical for inhibition of palmar sweating by iontophoresis in water. *J Appl Physiol* 1993;**75**: 2258-64.
- [13] Aydemir EH, Kalkan MT, Karakoc Y. Quantitative effect of anodal current in the treatment of primary hyperhidrosis by direct electrical current. *Int J Dermatol* 2006;**45**:862-4.
- [14] Godaux E, Cheron G. *Le mouvement*. Paris: Medsi/McGraw-Hill; 1989.
- [15] Jones D, Round J, de Haan A. *Physiologie du muscle squelettique*. Paris: Elsevier; 2005.
- [16] Licht S. *Electrodiagnosis and electromyography*. New Haven: Licht Publisher; 1956.
- [17] Vanderthommen M. Contribution à l'étude fondamentale et clinique de l'électrostimulation neuromusculaire. [thèse de doctorat en kinésithérapie], Université de Liège, 1993.
- [18] Bouman HD, Shaffer KJ. Physiological basis of electrical stimulation of human muscle and its clinical application. *Phys Ther Rev* 1956;**37**: 207-23.
- [19] Vanderthommen M, Kelleter B, Crielaard JM. Les courants excitomoteurs de basses fréquences. Détermination des durées d'impulsions optimales de stimulation. *Ann Kinésithér* 1991;**18**:483-4.
- [20] Bruxelles J. La stimulation électrique périphérique à visée antalgique. *EMC* (Elsevier Masson SAS, Paris), Kinésithérapie, 26-145-C-10, 1988 : 4p.
- [21] Crépon F. *Électrophysiothérapie et rééducation fonctionnelle*. Paris: Frison-Roche; 2002.
- [22] Kayser C. *Physiologie. Système nerveux. Muscle*. Paris: Flammarion; 1976.
- [23] Hannerz J. Discharge properties of motor units in relation to recruitment order in voluntary contraction. *Acta Physiol Scand* 1974; **91**:374-84.
- [24] Vanderthommen M, Kelleter B, Crielaard JM. Détermination de la fréquence de stimulation produisant la contraction tétanique maximale du quadriceps fémoral. In: Pélissier J, Roques CF, editors. *Électrostimulation des nerfs et des muscles*. Paris: Masson; 1992. p. 33-7.
- [25] Vanderthommen M, Depresseux JC, Dauchat L, Degueudre C, Croisier JL, Crielaard JM. Spatial distribution of blood flow in electrically stimulated human muscle: a positron emission tomography study. *Muscle Nerve* 2000;**23**:482-9.
- [26] Vanderthommen M, Depresseux JC, Dauchat L, Degueudre C, Croisier JL, Crielaard JM. Blood flow variation in the human muscle during electrically stimulated exercise bouts. *Arch Phys Med Rehabil* 2002;**83**:936-41.
- [27] Vanderthommen M, Gilles R, Carlier P, Ciancabilla F, Zahlan O, Sluse F, et al. Human muscle energetics during voluntary and electrically induced isometric contractions as measured by <sup>31</sup>P NMR spectroscopy. *Int J Sports Med* 1999;**20**:279-83.
- [28] Vanderthommen M, Duteil S, Raynaud JS, Wary C, Leroy-Willig A, Crielaard JM, et al. A comparison of voluntary and electrically induced contractions by interleaved <sup>1</sup>H and <sup>31</sup>P NMRS. *J Appl Physiol* 2003; **94**:1012-24.
- [29] Reisman MA. A comparison of electric stimulators in eliciting muscle contractions. *Phys Ther* 1984;**64**:751.
- [30] Vanderthommen M, Cohnen A, Crielaard JM. Intérêt de l'électromyostimulation de basse fréquence dans le cadre d'un alitement prolongé. In: Pélissier J, Roques CF, editors. *Électrostimulation des nerfs et des muscles*. Paris: Masson; 1992. p. 62-6.
- [31] Eriksson E, Haggmark T. Comparison of isometric muscle training and electrical stimulation supplementing isometric muscle training in the recovery after major knee ligament surgery. *Am J Sports Med* 1979;**7**: 169-71.
- [32] Vanderthommen M, Constant T, Crielaard JM. La rééducation du quadriceps: intérêt de l'électromyostimulation de basse fréquence après arthroscopie du genou. *Kinésithér Scient* 1992;21-2 (n° 308).
- [33] Vanderthommen M, Soltani K, Maquet D, Crielaard JM, Croisier JL. Does neuromuscular electrical stimulation influence muscle recovery after maximal isokinetic exercise? *Isokinetics Exerc Sci* 2007;**15**: 143-9.
- [34] Perennou DA, Leblond C, Amblard B, Micallef JP, Hérisson C, Pélissier JY. Transcutaneous electric nerve stimulation reduces neglect-related postural instability after stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2001; **82**:440-8.
- [35] Petros P, Ulmsten U. An integral theory and its method for the diagnosis and management of female urinary incontinence. *Scand J Urol Nephrol* 1993;**153**:1-93.
- [36] Hebert N, Barre C, Lobel B, Louvigne Y, Brissot R, Follin F, et al. Rééducation périnéale dans l'incontinence urinaire chez la femme. *Ann Readapt Med Phys* 1986;**29**:245-52.
- [37] Malissard M, Souquet J, Mellier G, Gallaup JP. Chronaxie et énergie maximale de stimulation : influence des propriétés électriques du tissu vaginal. In: Pélissier J editor. *Rééducation vésico-sphinctérienne et ano-rectale*. Paris: Masson; 1992. p. 108-16.
- [38] Hasan ST, Robson WA. Outcome of transcutaneous electrical stimulation in patients with detrusor instability. *Neurourol Urodyn* 1994;**13**: 349-50.
- [39] Crepon F. Electrostimulation in the rehabilitative treatment of urinary incontinence. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult* 1992(3):50-3.
- [40] Amarenco G, Ismael SS, Even-Schneider A, Raibaut P, Demaille-Wlodyka S, Parratte B, et al. Urodynamic effect of acute transcutaneous posterior tibial nerve stimulation in overactive bladder. *J Urol* 2003; **169**:2210-5.
- [41] Ashley Z, Sutherland H, Lanmuller H, Unger E, Li F, Mayr W, et al. Determination of the chronaxie and rheobase of denervated limb muscles in conscious rabbits. *Artif Organs* 2005;**29**:212-5.
- [42] Diverrez JP. Électrologie. Exploration en rééducation fonctionnelle. *EMC* (Elsevier Masson SAS, Paris), Kinésithérapie - Rééducation Fonctionnelle, 26-015-A-10, 1995 : 11p.
- [43] Salmons S, Ashley Z, Sutherland H, Russold MF, Li F, Jarvis JC. Functional electrical stimulation of denervated muscles: basic issues. *Artif Organs* 2005;**29**:199-202.
- [44] Kleinknecht B, Breton G, Carzon J, Courtillon A, Daniel F, Darnault A, et al. Méthodologie électrologique. In: Heuleu JN, Simon L, editors. *Muscle et rééducation*. Paris: Masson; 1998. p. 151-9.
- [45] Mercier J. Bases électriques et biochimiques du fonctionnement du nerf et du muscle. In: Pélissier J, Roques CF, editors. *Électrostimulation des nerfs et des muscles*. Paris: Masson; 1992. p. 1-6.
- [46] Pouget J. Électrostimulation neuromusculaire : bases expérimentales. In: Pélissier J, Roques CF, editors. *Électrostimulation des nerfs et des muscles*. Paris: Masson; 1992. p. 20-4.
- [47] Crépon F. Électrodiagnostic de stimulation des dénervations. *Kinésithér Scient* 2003;57-9 (n° 434).
- [48] Crépon F. Électrostimulation des muscles dénervés. 1. Procédure de traitement simplifiée. *Kinésithér Scient* 2004;55-6 (n° 440).
- [49] Crépon F. Électrostimulation des muscles dénervés. 2. Polarité des impulsions et techniques complémentaires. *Kinésithér Scient* 2004; 53-4 (n° 444).
- [50] Kern H, Rossini K, Carraro U, Mayr W, Vogelauer M, Hoellwarth U, et al. Muscle biopsies show that FES of denervated muscles reverses human muscle degeneration from permanent spinal motoneuron lesion. *J Rehabil Res Dev* 2005;**42**(3suppl1):43-53.

- [51] Helgason T, Gargiulo P, Johannesdottir F, Ingvarsson P, Knutsdottir S, Gudmundsdottir V, et al. Monitoring muscle growth and tissue changes induced by electrical stimulation of denervated degenerated muscles with CT and stereolithographic 3D modeling. *Artif Organs* 2005;**29**:440-3.
- [52] Hofer C, Forstner C, Modlin M, Jager H, Mayr W, Kern H. In vivo assessment of conduction velocity and refractory period of denervated muscle fibers. *Artif Organs* 2005;**29**:436-9.
- [53] Johnston TE, Smith BT, Betz RR. Strengthening of partially denervated knee extensors using percutaneous electric stimulation in a young man with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 2005;**86**:1037-42.
- [54] Martinek J, Reichel M, Rattay F, Mayr W. Analysis of calculated electrical activation of denervated muscle fibers in the human thigh. *Artif Organs* 2005;**29**:444-7.
- [55] Besson JM, Guilbaud G, Ollat H. *Peripheral neurons and nociception: physiopharmacological aspects*. Paris: John Libbey Eurotext; 1994.
- [56] Le Bars D. The whole body receptive field of dorsal horn multireceptive neurons. *Brain Res Brain Res Rev* 2002;**40**:29-44.
- [57] Brasseur L, Chauvin M, Guilbaud G. *Douleurs*. Paris: Maloine; 1997.
- [58] Melzack R, Wall PD. Pain mechanism: a new theory. *Science* 1965;**150**:971-9.
- [59] Wall PD. The gate control theory of pain mechanisms: a re-examination and a restatement. *Brain* 1978;**101**:1-8.
- [60] Boureau F, Willer JC. *La douleur. Exploration, traitement par neurostimulation et électro-acupuncture*. Paris: Masson; 1982.
- [61] Dickenson AH, Chapman V. Neurotransmetteurs et neuromodulateurs de la douleur au niveau spinal. In: Brasseur L, Chauvin M, Guilbaud G, editors. *Douleurs*. Paris: Maloine; 1997. p. 38-47.
- [62] Le Bars D, Dickenson AH, Besson JM. Diffuse noxious inhibitory controls (DNIC). I. Effects on dorsal horn convergent neurones in the rat. *Pain* 1979;**6**:283-304.
- [63] Le Bars D, Dickenson AH, Besson JM. Diffuse noxious inhibitory controls (DNIC). II. Lack of effect on non-convergent neurones, supraspinal involvement and theoretical implications. *Pain* 1979;**6**:305-27.
- [64] Le Bars D, Chitour D, Kraus E, Dickenson AH, Besson JM. Effects of naloxone upon diffuse noxious inhibitory controls (DNIC) in the rat. *Brain Res* 1981;**204**:387-402.
- [65] Bouhassira D, Attal N, Alchaar H, Boureau F, Brochet B, Bruxelle J, et al. Comparison of pain syndromes associated with nervous or somatic lesions and development of a new neuropathic pain diagnostic questionnaire (DN4). *Pain* 2005;**114**:29-36.
- [66] Queneau P, Ostermann G. *Le médecin, le malade et la douleur*. Paris: Masson; 2004.
- [67] Benedetti F, Amanzio M, Casadio C, Cavallo A, Cianci R, Giobbe R, et al. Control of postoperative pain by transcutaneous electrical nerve stimulation after thoracic operations. *Ann Thorac Surg* 1997;**63**:773-6.
- [68] Crépon F. Électrophysiothérapie des algodystrophies post-traumatiques. In: *L'algodystrophie post-traumatique des membres*. Paris: SPEK; 2002. p. 85-93.
- [69] Travell JG, Simons DG. Douleurs et troubles fonctionnels myofasciaux. In: *Traité des points-déclenchement musculaires (2 tomes)*. Bruxelles: Haug international; 1993.
- [70] Boureau F, Doubrère JF. Le concept de douleur. Du symptôme au syndrome. *Doul Analg* 1988;**1**:11-7.
- [71] Guy-Coichard C, Rostaing-Rigattieri S, Doubrère JF, Boureau F. Conduite à tenir vis-à-vis d'une douleur chronique. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Anesthésie-Réanimation, 36-030-A-10, 2005.
- [72] Boureau F, Luu M, Doubrère J-F. Analgésie par neurostimulation transcutanée. Mise au point, perspectives. In: Pélissier J, Roques CF, editors. *Électrostimulation des nerfs et des muscles*. Paris: Masson; 1992. p. 52-7.
- [73] Verdier JC. Stimulation électrique transcutanée dans les lombalgies, radiculalgies, plexalgies. In: Pélissier J, Roques CF, editors. *Électrostimulation des nerfs et des muscles*. Paris: Masson; 1992. p. 164-7.
- [74] Berthelin F. Douleur et électrostimulation. *Kinésithér Scient* 1992;**7**:10 (n° 310).
- [75] Berthelin F. L'électrostimulation à visée antalgique. *Kinésithér Scient* 1992;**11**:4 (n° 310).
- [76] Berthelin F. La stimulation électrique transcutanée. Technique d'analgésie articulaire. *Kinésithér Scient* 1992;**15**:20 (n° 310).
- [77] Crépon F. Électrophysiothérapie et douleur. *Cah Kinésithér* 1996;**182**:51-4.
- [78] Dean J, Bowsher D, Johnson MI. The effects of unilateral transcutaneous electrical nerve stimulation of the median nerve on bilateral somatosensory thresholds. *Clin Physiol Funct Imaging* 2006;**26**:314-8.
- [79] Crielaard JM, Reuter AM, Vrindts N, Franchimont P. Acquisitions nouvelles en électrothérapie : le système endorphinique. *Cah Kinésithér* 1985;**112**:47-53.
- [80] Crépon F. Intérêt de l'électrostimulation polyvalente en rééducation fonctionnelle. *Kinésithér Scient* 2003;**59**:60 (n° 437).

F. Crépon (f.crepon@hopital-saint-maurice.fr).

École nationale de kinésithérapie et de rééducation, 12, rue du Val-d'Osne, 94410 Saint-Maurice, France.

École nationale de chimie physique et biologie, 11, rue Pirandello, 75013 Paris, France.

J.-F. Doubrère, Praticien hospitalier.

Centre hospitalier de Montereau, 1 bis, rue Victor-Hugo, 77875 Montereau cedex, France.

Centre d'évaluation et de traitement de la douleur, Centre hospitalier Saint-Antoine, 184, rue du Faubourg Saint-Antoine, 75012 Paris, France.

M. Vanderthommen, Chargé de cours.

Département des sciences de la motricité, Université de Liège ISEPK B21 Sart-Tilman, 4000 Liège, Belgique.

E. Castel-Kremer, Praticien hospitalier.

Hôpitaux Universitaires, 1, place de l'Hôpital, 67091 Strasbourg, France.

G. Cadet.

École nationale de kinésithérapie et de rééducation, 12, rue du Val-d'Osne, 94410 Saint-Maurice, France.

Toute référence à cet article doit porter la mention : Crépon F., Doubrère J.-F., Vanderthommen M., Castel-Kremer E., Cadet G. Électrothérapie. Électrostimulation. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation, 26-145-A-10, 2007.

Disponibles sur [www.emc-consulte.com](http://www.emc-consulte.com)

