



# AMÉLIORER la PERFORMANCE SPORTIVE



© Avalon / Icon Sport



# AMÉLIORER la PERFORMANCE SPORTIVE

« Plus vite, plus haut, plus fort », telle est la devise des jeux olympiques depuis 1896. Aujourd'hui, des centres de recherches du monde entier collaborent avec les entraîneurs, les médecins et les sportifs dans le but de battre des records de plus en plus difficiles à atteindre. Dans le cadre de la préparation des sportifs aux jeux olympiques de Paris en 2024, l'INSEP (Institut national du sport, de l'expertise et de la performance) a mis en place un programme de recherche pluridisciplinaire, le programme PERSEE. Sur cinq ans, jusqu'en 2023, le laboratoire Sport expertise et performance (SEP) de l'INSEP étudie la mécanique du corps, les processus de récupération et les conditions de stress des athlètes dans le but d'optimiser la performance sportive, prévenir les risques de blessures et garantir l'équilibre de vie des sportifs.

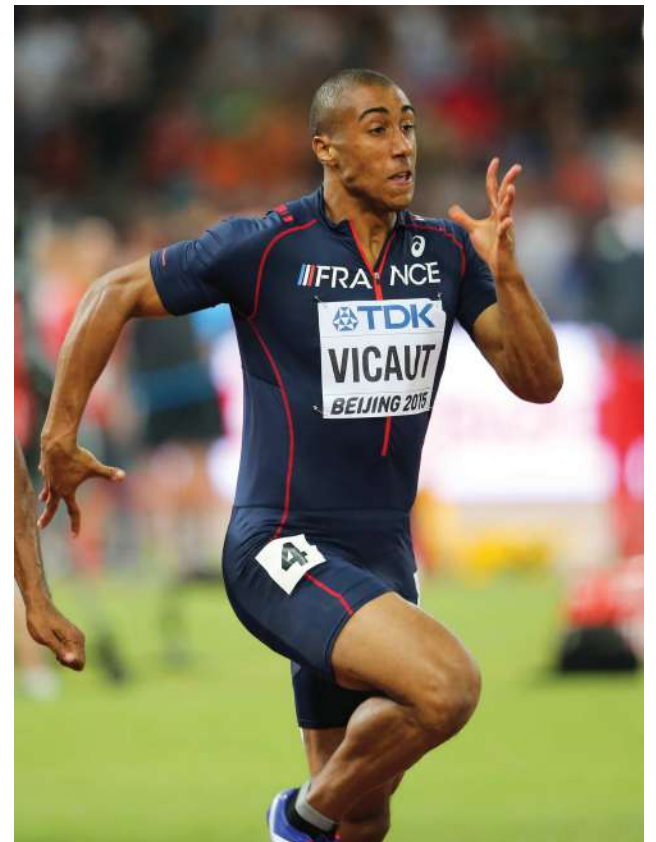


© Avalon / Icon Sport



© Von Der Laage / Icon Sport

L'évolution des conditions de vie, les progrès techniques et l'influence des contextes historiques et politiques ont contribué à améliorer les performances sportives. Le travail de collaboration est indispensable pour élaborer des protocoles d'entraînement innovants.



© Gladys Chai Von Der Laage / Icon Sport

# LE MOUVEMENT DÉCRYPTÉ

A la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, le chronophotographe d'Etienne-Jules Marey et d'Eadweard Muybridge permettait de capturer en rafale les positions successives d'un homme en mouvement. Dans les années 1920 et 1930, des scientifiques mesurent l'activité électrique des muscles (électromyographie) et les forces en jeu dans les interactions sol/pied d'un marcheur. Ces techniques, revisitées à l'ère des technologies numériques, sont toujours utilisées. Elles sont complétées par des capteurs embarqués sur les sportifs.

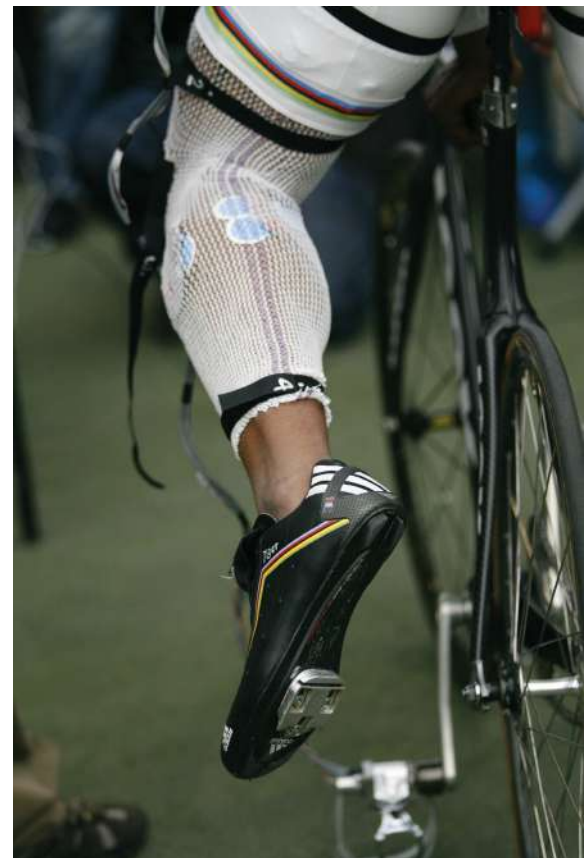


© Patrick Pichon / FFC



© Andre Ferreira / Icon Sport

Parrallèlement aux mesures qu'ils effectuent sur les sportifs, les chercheurs étudient les interactions physiques avec l'environnement. Le but est double : améliorer les postures et les gestes des sportifs ainsi que les performances des matériels (équipements aérodynamiques, matériaux des perches pour le saut...).



© Xavier Cailhol / Icon Sport

## Analyse des mouvements en compétitions



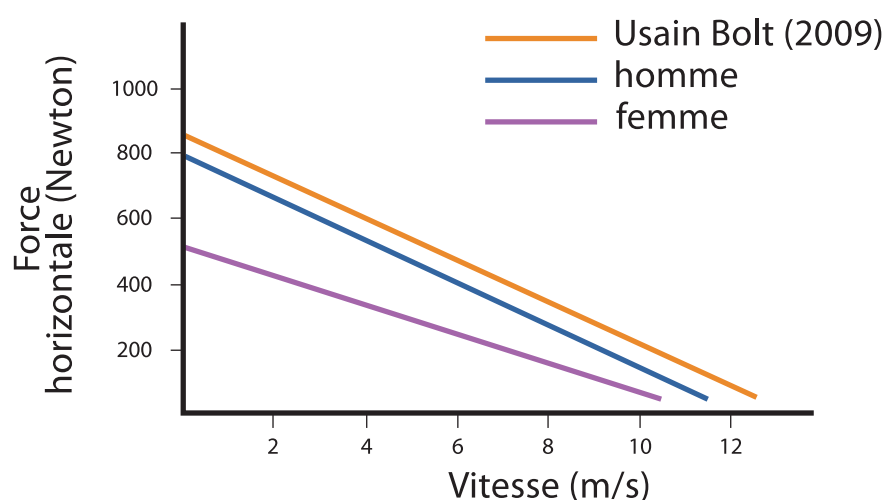
© Anthony Dibon / Icon Sport

Les joueurs de l'équipe de France de handball sont équipés d'accéléromètres. Les résultats obtenus en compétition montrent que les activités peu intenses (marche, footing léger) se déroulent pendant 96% du temps alors que les actions décisives impliquant de fortes accélérations sont très courtes. Les entraîneurs ont donc modifié les techniques de jeu et la musculation des sportifs pour les adapter aux mouvements « explosifs ».

# ENTRAÎNEMENT INNOVANT

## Le secret d'Usain Bolt ? Pouvoir encore accélérer alors qu'il va déjà très vite !

En 2009, le jamaïcain Usain Bolt bat le record mondial du 100 mètres en 9,58 s. Sa vitesse moyenne sur cette distance est de 10,44 m/s. Ce record s'explique par la capacité à développer une force sur le sol plus grande à des moments où la vitesse du coureur est proche des vitesses maximales qu'il peut atteindre.

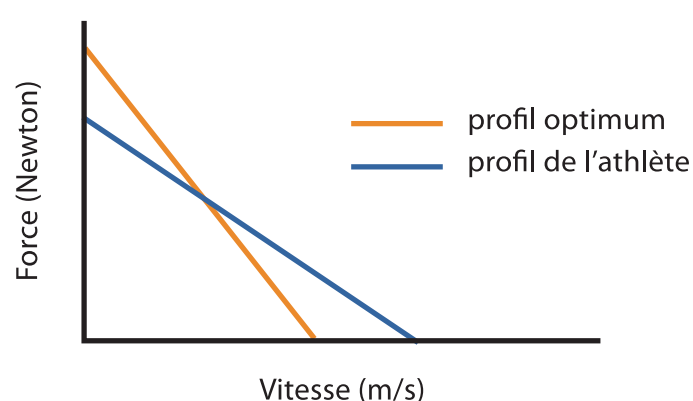


## Force ou vitesse, il faut choisir !

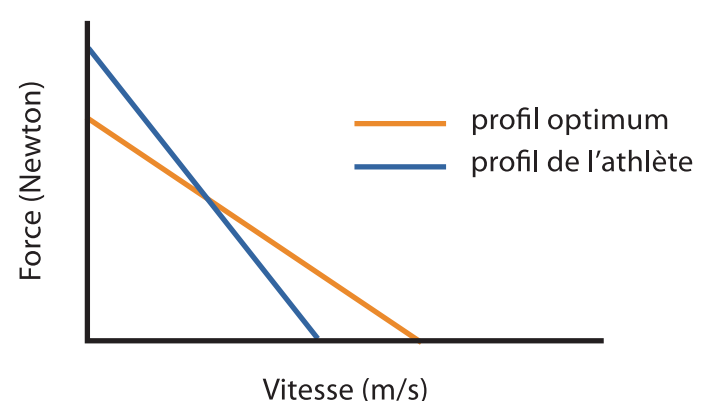
Un cycliste peut effectuer un même trajet en choisissant d'utiliser le grand pignon de sa roue arrière ou le petit. Avec le grand pignon, il pédale vite sans appuyer fort sur les pédales. La cadence de pédalage est grande mais à chaque tour de pédale, la force développée et la distance parcourue sur la route sont faibles. C'est l'inverse s'il choisit un petit pignon. Il pédale lentement en appuyant très fort. La puissance du cycliste est identique dans les deux cas, mais elle est orientée soit en vitesse, soit en force.

## Des entraînements innovants

Chercheurs et entraîneurs élaborent ensemble un profil force/vitesse adapté à la discipline sportive. En comparant ce profil optimal à celui du sportif, les entraîneurs élaborent des programmes d'entraînements personnalisés.



L'athlète a un profil de puissance orienté en vitesse. Pour atteindre le profil optimum, il doit s'entraîner à orienter sa puissance en force.

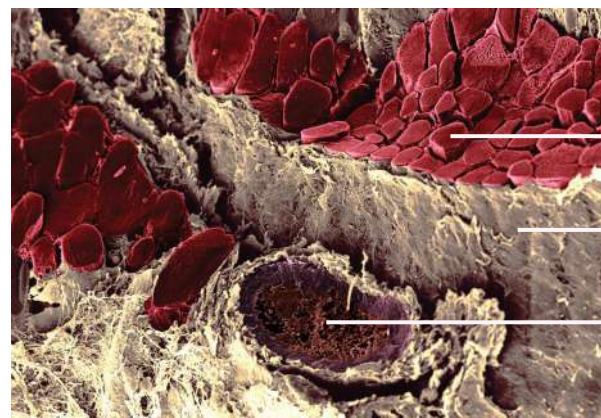


L'athlète a un profil de puissance orienté en force. Pour atteindre le profil optimum, il doit s'entraîner à orienter sa puissance en vitesse.

# LE CORPS MACHINE

**Le moteur muscle-tendon.** Les muscles attachés aux os par les tendons mettent en mouvement le corps lorsqu'ils se contractent (ou se relâchent). La contraction est due au raccourcissement des fibres musculaires.

Image colorisée d'un muscle de porc, obtenue à l'aide d'un microscope électronique à balayage. Les fibres musculaires sont entourées d'une gaine de tissu conjonctif qui se prolonge dans les tendons. D'autres tissus conjonctifs assurent la continuité entre les tendons et les os. Ces tissus garantissent une forte connexion entre les muscles et les os.



Fibre musculaire

Tissu conjonctif

Vaisseau sanguin

©David Gregory & Debbie Marshall / CC BY

Les fibres qui bénéficient de l'oxygène apporté par le sang peuvent se contracter et se relâcher un grand nombre de fois. D'autres, moins irriguées sont plus fatigables. Elles sont en jeu lors de mouvements puissants mais de courtes durées exécutés par les sprinters, les duellistes (escrime, judo, boxe...), les joueurs de ballon (handball, volleyball...), les footballeurs qui se disputent le ballon.



©PA Images / Icon Sport

**Optimisation de l'échauffement musculaire.** 10 à 15 minutes d'activité continue élèvent la température musculaire de 3 à 4 °C. Les échauffements préparent à l'effort. Ils limitent les courbatures en évitant les microlésions des fibres musculaires. Les risques de blessures diminuent et les performances augmentent.

Chaque augmentation de 1°C de la température musculaire augmente la hauteur d'un saut de 4 à 5%. L'échauffement des muscles augmente la vitesse des impulsions électriques (influx nerveux) qui se propagent le long des nerfs moteurs (axones des neurones moteurs). La vitesse des réactions chimiques en jeu dans la contraction des fibres musculaires est aussi augmentée et les fibres bénéficient d'un apport d'oxygène plus élevé en raison de la dilatation des vaisseaux sanguins.

L'échauffement «huile» les articulations en augmentant la production de liquide synovial. Il diminue la raideur des muscles et des tendons. Des mesures d'élasticité effectuées à l'aide d'échographies permettent d'optimiser les programmes d'échauffement et de décider du retour d'un sportif après une blessure.

L'échauffement prépare le mouvement. Les routines d'échauffement renforcent la coordination entre les muscles. En visualisant chaque phase des gestes à exécuter, le sportif crée une « empreinte » dans son système nerveux. Elle améliore l'interaction entre les protéines (actine et myosine) contenues dans la fibre musculaire et responsables de sa contraction.



©Dave Winter / Icon Sport

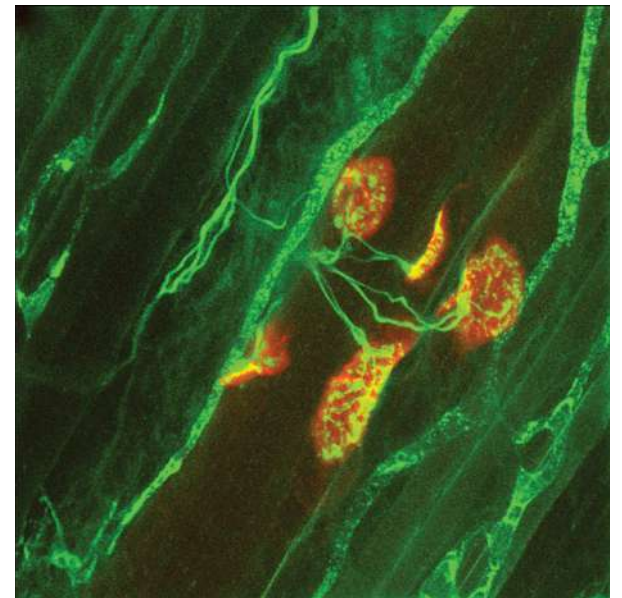


©Andre Ferreira / Icon Sport

# CERVEAU et CARBURANT

## Le cerveau connecté

Les neurones du cortex cérébral moteur se prolongent jusqu'à la moelle épinière où ils transmettent leur influx nerveux aux neurones moteurs. Ceux-ci sont connectés aux muscles par une jonction (ou synapse) neuromusculaire. Le cortex moteur contrôle le mouvement en exploitant des informations provenant d'autres régions cérébrales reliées à différents capteurs (yeux, oreilles, capteurs de proprioception répartis dans les muscles, les tendons, les articulations et les os). Les gestes du sportif sont appris et répétés lors des entraînements jusqu'à devenir automatiques.



©Tom Gillingwater / CC BY

Image de microscope confocal en fausses couleurs : les neurotransmetteurs (acétylcholine, en rouge) déclenchent la contraction des fibres musculaires (en vert).

## L'énergie des cellules

Les fibres musculaires, les neurones et toutes les cellules du corps humain ont besoin d'énergie. L'énergie est fournie par la dégradation des molécules d'ATP (adénosine triphosphate) en molécules plus petite (ADP ou adénosine diphosphate). Les molécules d'ATP sont régénérées à partir des molécules d'ADP et de l'énergie libérée par des réactions chimiques impliquant les nutriments issus de notre alimentation (glucides, lipides, protéines). Une cellule musculaire recycle chaque seconde 10 millions de molécules d'ADP en ATP.

Lorsque l'effort physique est de courte durée, par exemple lors des duels d'escrime (3 min), l'ATP utilisé par les cellules est fourni rapidement par des réactions chimiques ne nécessitant pas d'apport d'oxygène (anaérobie). Au-delà de 5 minutes d'effort environ, une augmentation de l'apport d'oxygène due à l'accélération de la respiration permet une production d'ATP plus importante. On estime qu'1 molécule de glucose engendre alors indirectement 30 à 32 molécules d'ATP. Au-delà de 40 minutes, des réactions chimiques plus efficaces consomment les lipides.



©Andre Ferreira / Icon Sport

## Nutrition et hydratation adaptées

Les aliments riches en tryptophane (légumineuses, bananes, noix...) sont recommandés aux sportifs. Ils favorisent le gain de masse musculaire et le sommeil lent réparateur. L'hydratation est aussi étudiée. Ici, un test d'effort effectué après une hydratation riche en bicarbonates.



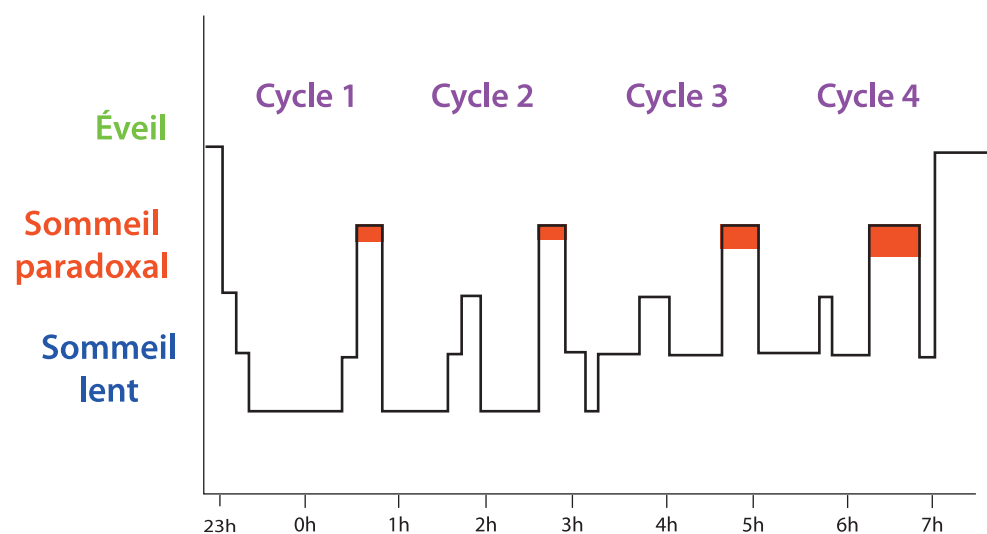
©Isabelle Amaudry / INSEP

# SOMMEIL et PERFORMANCE

Une nuit de sommeil est composée de plusieurs cycles de 90 minutes environ. Les périodes de sommeil paradoxal (le sommeil des rêves) et de sommeil lent profond sont exploitées pour améliorer la récupération des sportifs et contribuer à l'optimisation de la performance sportive.



©Science Museum, London / CC BY

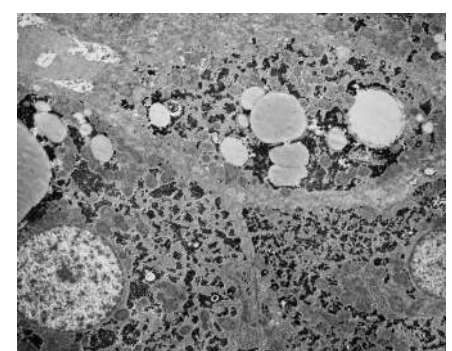


## Électroencéphalogramme

Le sommeil lent regroupe 3 phases : l'endormissement, le sommeil lent léger et le sommeil lent profond. L'activité cérébrale du sommeil lent profond présente des ondes électriques amples et lentes. Le sommeil des rêves est qualifié de paradoxal en raison d'une activité cérébrale proche de l'éveil et de mouvements oculaires rapides qui contrastent avec l'immobilité du corps.

Au cours d'une nuit de sommeil, les rythmes respiratoire et cardiaque sont ralentis, la température corporelle diminue. Lors des phases de sommeil lent profond, le cerveau sécrète l'hormone de croissance. Elle permet notamment la cicatrisation des dommages musculaires. Le sommeil lent profond assure la récupération physique de l'organisme tandis que le sommeil paradoxal permet d'ancrer les gestes techniques et les schémas tactiques appris dans la journée.

Dormir permet aussi de reconstituer les réserves de glucose. Ces molécules s'assemblent en chaînes jusqu'à former une macromolécule, le glycogène. 1 kg de muscle contient 1 à 10 grammes de glycogène. Le foie en stocke davantage. Sur l'image ci-contre obtenue avec un microscope électronique à transmission, le glycogène apparaît sous forme de granules sombres.



©Mike Kayser / CC BY

# Le PROGRAMME PERSEE

Le programme de recherche pluridisciplinaire, PERSEE mené par le laboratoire Sport expertise et performance (SEP) de l'INSEP (Institut national du sport, de l'expertise et de la performance) évalue les contraintes qui pèsent sur les sportifs de haut niveau afin d'optimiser les méthodes d'entraînement et les performances en période de compétition.

Comprendre la production du mouvement depuis la perception de l'information, jusqu'à l'accomplissement de l'action.

Prévenir les blessures en identifiant les conditions propices à leur déclenchement et à leurs récurrences.

**Médecine sportive**

**Biomécanique**

**Partenariats industriels**

**Nutrition**

optimisation de la **PERformance**  
réduction des **bleSsures**  
Equilibre de **viE** du sportif

**Physiologie**

**Neurosciences**

**Psychosociologie**

**Psychologie**

Réduire le stress des sportifs induit sur le corps par des exercices intenses, ou lié à la charge mentale gérée par l'athlète seul ou en équipe.

Identifier les conditions environnementales optimales à récupération des sportifs et à la diminution de leur résistance au changement.



# ÉLECTROMYOGRAPHIE

---

Les sportifs de l'INSEP se prêtent à des expériences visant par exemple à mieux comprendre les propriétés mécaniques des muscles et des tendons ou à mesurer les effets d'une augmentation de température sur la force des gestes « explosifs ».

L'électromyographie de surface mesure l'activité électrique des muscles de manière non invasive. Les électrodes (en bleu), placées sur la partie bombée du muscle, détectent les courants électriques à travers la peau.



©Isabelle Amaudry / INSEP



©Isabelle Amaudry / INSEP

Les électrodes mesurent précisément la chronologie et l'amplitude des signaux électriques des neurones moteurs, des jonctions neuromusculaires et des muscles impliqués dans un mouvement contrôlé par le sportif.

# SOMMEIL RÉCUPÉRATEUR

---

9 à 10 heures de sommeil, dont une sieste.

**A**ctivité physique en journée à l'extérieur (favorise le sommeil lent profond récupérateur)

**R**égularité des rythmes veille-sommeil de la semaine à entretenir le week-end

**S**ieste entre 13h et 16h - durée inférieure à 30 minutes ou comprise entre 1h30 et 2h

**D**îner 2 à 3 heures avant le coucher - sans caféine ni alcool

**L**imiter l'usage des écrans 1 heure avant le coucher

**D**étente cérébrale : relaxation, lecture, méditation, autohypnose, sophrologie...

**D**ormir au calme, au frais (18 à 20°C) et dans l'obscurité

# MATELAS INNOVANT

---

Les chercheurs ont découvert qu'en accélérant la diminution de la température du corps au cours de la nuit, le sommeil lent profond et le sommeil paradoxal étaient améliorés.



©ALLOU Antis / INSEP



©ALLOU Antis / INSEP

Pour faire chuter plus vite la température corporelle, les chercheurs ont mis au point un matelas innovant avec un partenaire industriel. Il contient un gel qui se comporte à l'inverse d'un isolant thermique. En dormant sur ce matelas de conductivité thermique élevée, les sportifs ont bénéficié d'un meilleur sommeil : diminution des durées d'éveils entre les cycles de sommeil (-12 minutes env.).