Equipe Corps& Cognition, séminaire du 20/06/2017

Modélisation et simulation de l'érosion de l'inhibition corticale lors de l'éveil sur les performances en mémorisation et en rappel

Claude Touzet & Marc Rey





Résumé

Toute expérimentation "cognitive" - qui ne prend pas en compte l'heure de la journée à laquelle se déroule l'expérience - est soumise à un biais important qui peux atteindre 45 % de variation sur la performance mesurée entre le matin et la fin d'après-midi (du fait de la simple "usure" normale due à l'état de veille).

En fait, ce n'est pas l'heure de la journée qui compte, mais la durée depuis l'heure de réveil (si le sommeil du sujet a été normal).

Le GABA

Les neurones GABAergiques (Cl⁻) sont excitateurs durant la phase intra-utérine, puis inhibiteurs.

L'inhibition est importante (10% à 40%), notamment pour augmenter le contraste.

Au niveau cortical, les neurones inhibiteurs permettent des foyers d'activations localisés (colonne corticale).

Les synapses GABA sont plastiques et obéissent aux mécanismes classiques (Hebb).

Constat:

Un neurone inhibiteur efficace (à empêcher l'activation de sa cible) voit donc son efficacité diminuer (LTD).

Hypothèse:

Durant le sommeil, les neurones inhibiteurs retrouvent leur efficacité (LTP).

Question:

Au cours de la journée, y a t-il une baisse des performances cognitives liée à la diminution d'efficacité de l'inhibition ?

Modélisation & simulations:

Au niveau d'une carte corticale, apprentissage, et reconnaissance (de chiffres manuscrits) à différentes heures de la journée (i.e., différentes efficacités de l'inhibition).

Rappel:

Il y a 360 cartes corticales, chacune dédiée à un type de données particulier. Il en existe une pour les chiffres (acalculie, aphasie des nombres).

Quelques chiffres:

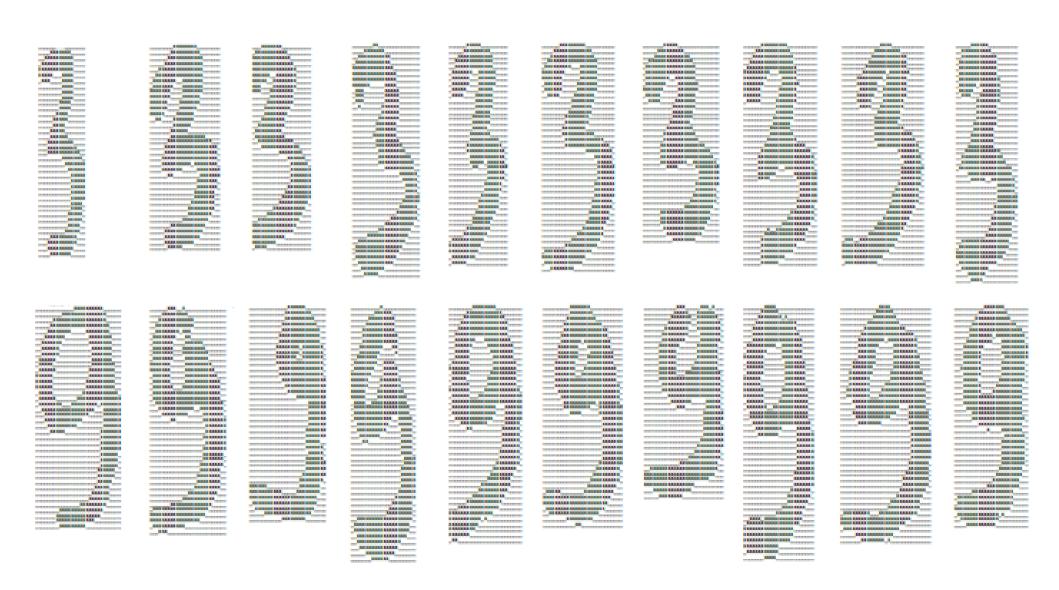
Cerveau: 82 milliards de neurones.

Cortex: 16 milliards de neurones (160 000 colonnes corticales).

Carte corticale: 450 colonnes (20 x 20).

Base d'apprentissage:

10 exemples de chaque chiffre ("0" à "9")



Modèle:

Carte auto-organisatrice (Kohonen) de 10 x 10.

On ajoute un coefficient pour tenir compte de l'érosion de l'inhibition :

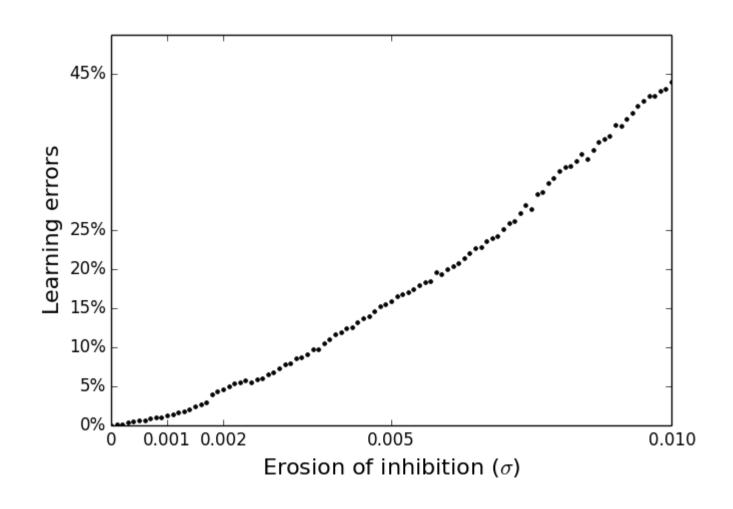
$$\operatorname{dist}(i) = \sum_{j=1..15} |x_j - w_{i,j}| + \sigma \cdot \sum_{m=1..n} (\sum_{j=1..15} |x_m - w_{m,j}|)$$

La sélection de la colonne gagnante pour l'entrée considérée est bruitée par des informations en provenance de toutes les autres colonnes de la carte (défaut d'inhibition).

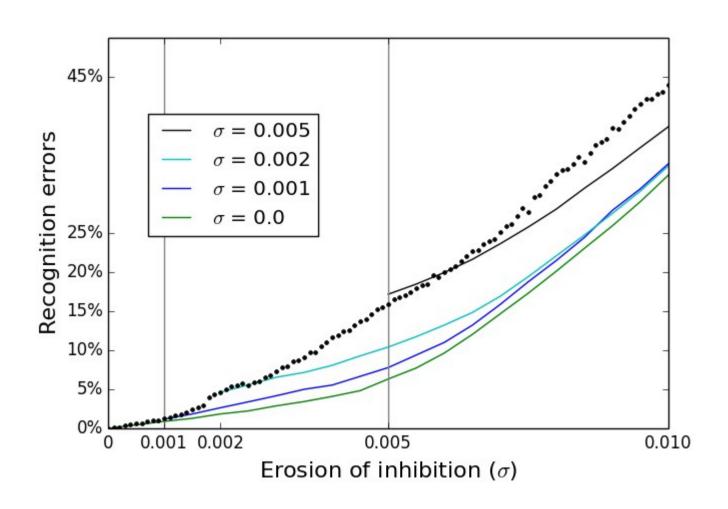
Apprentissage : 10 itérations (50 MAJ / synapse). Respect de la topologie.

9	_	_	8	7	7	_	6	6	6
9	3	8	_	7	7	6	6	_	6
9	_	_	7	7	7	_	6	4	4
_	9	_	8	7	7	5	5	5	4
_	9	8	_	_	_	5	_	4	_
9	9	8	8	_	8	_	5	_	4
9	_	_	1	_	8	2	_	5	3
0	0	8	_	2	2	_	3	_	3
0	_	2	1	2	_	_	3	-	3
0	2	_	2	1	1	1	_	5	

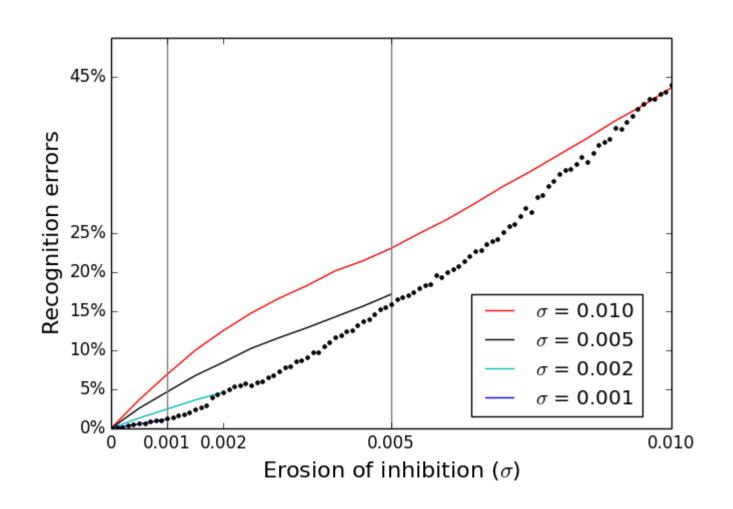
Performance de l'apprentissage en fonction du niveau d'érosion de l'inhibition. (taux d'erreurs en reconnaissance des chiffres)



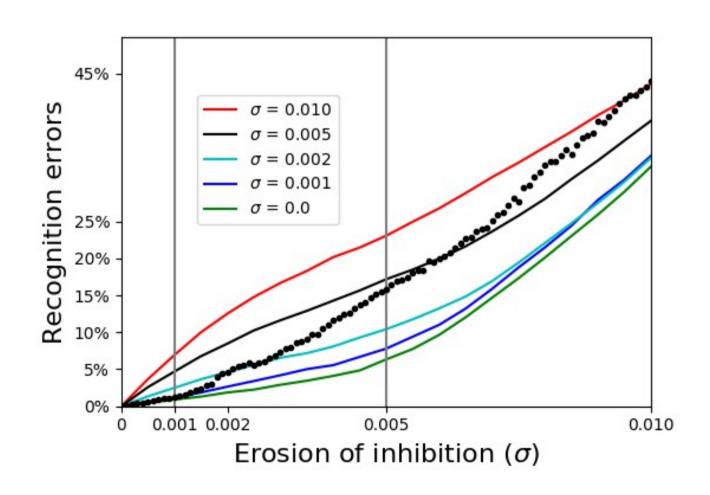
Généralisation: Les erreurs en reconnaissance (après apprentissage) augmentent moins vite (pour le même niveau d'érosion de l'inhibition).



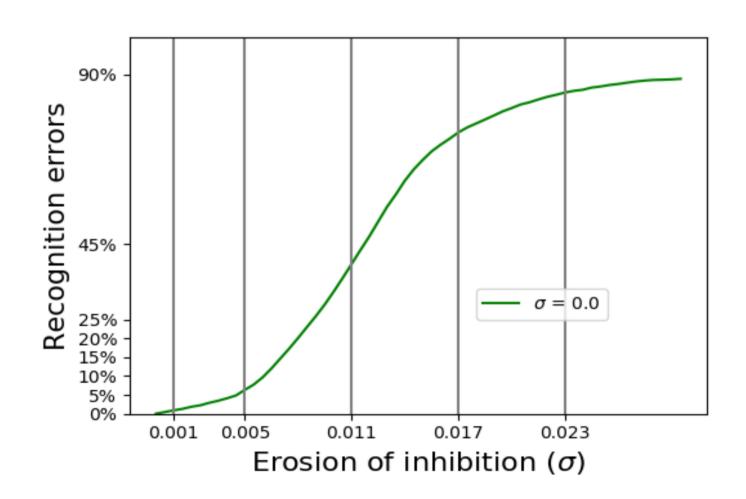
Apprentissage optimal : Les erreurs en reconnaissance (après apprentissage) diminuent avec le niveau d'érosion de l'inhibition jusqu'à 0 !



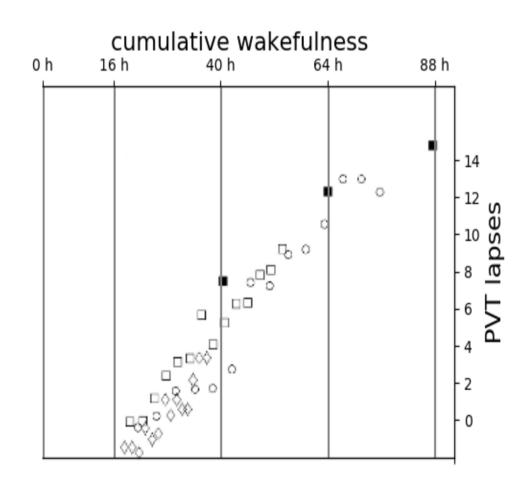
Performances en reconnaissance en fonction de l'érosion de l'inhibition pour 5 apprentissages réalisés à différents niveaux d'érosion.



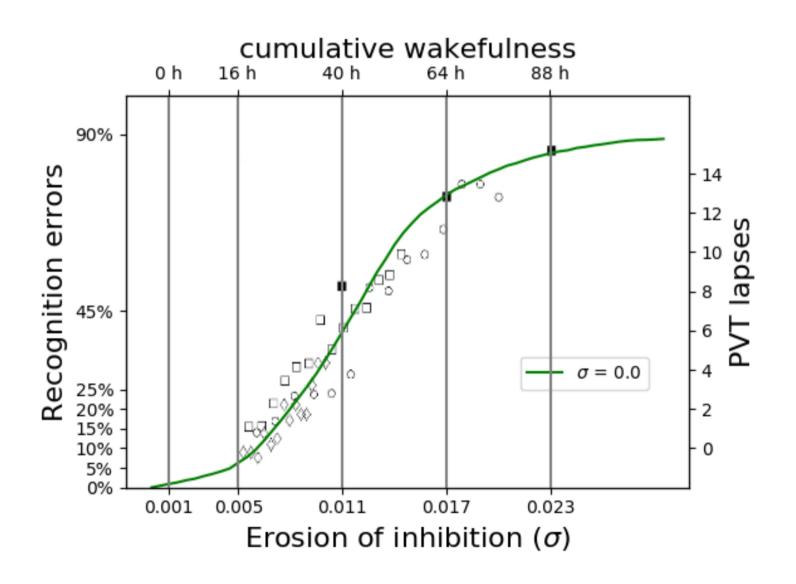
Performances en reconnaissance en fonction de l'érosion de l'inhibition pour un apprentissage réalisé sans aucune érosion de l'inhibition.



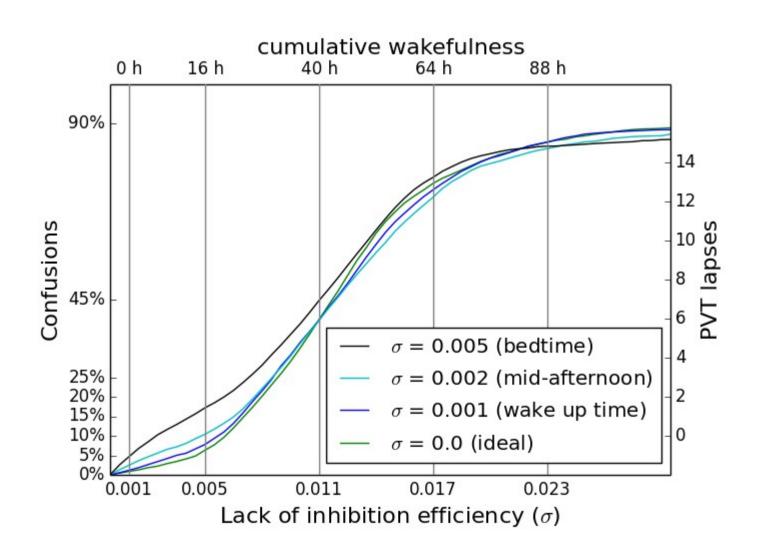
Données cliniques : augmentation du délai de réaction lors d'un éveil prolongé (en sus d'une journée normale de 16 h).



Efficacité de l'inhibition (100 h) → érosion 1% / h

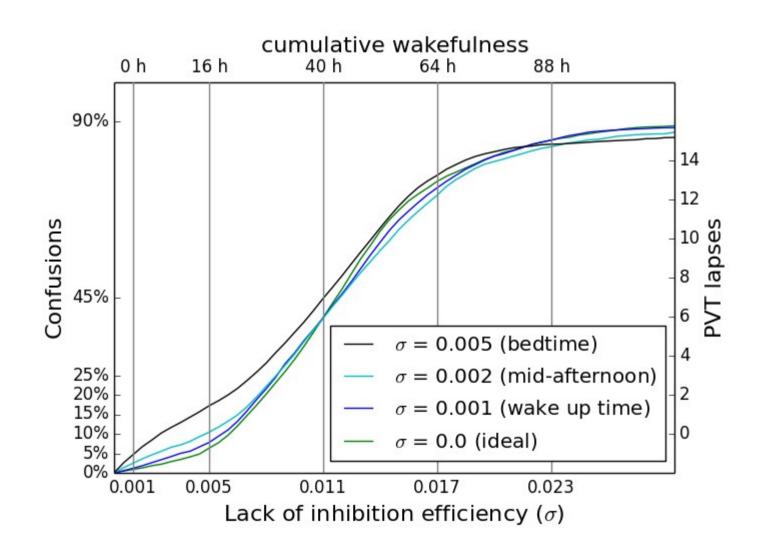


Performance de la reconnaissance pour des apprentissages à différentes heures de la journée

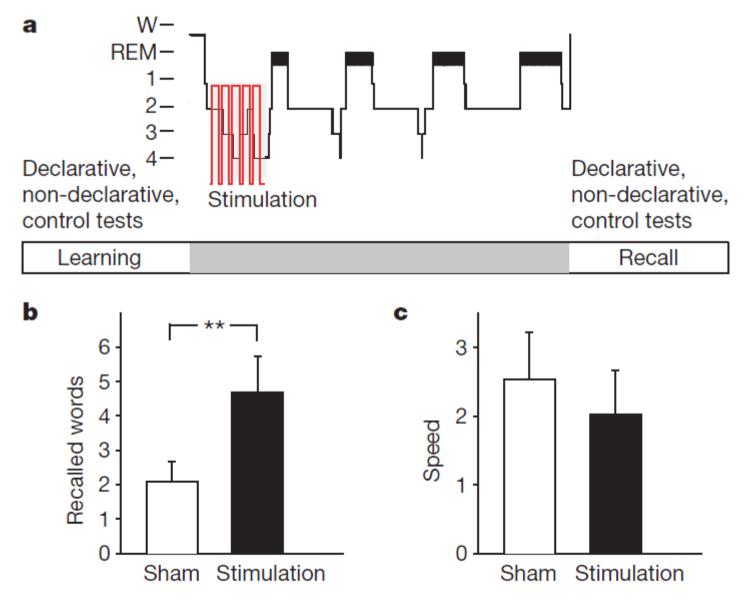


[0 à 16 h] : 5% de perte → Généralisation.

0 h : σ = 0.001 (taux d'erreurs = 2%) \rightarrow amélioration possible de l'efficacité du sommeil)

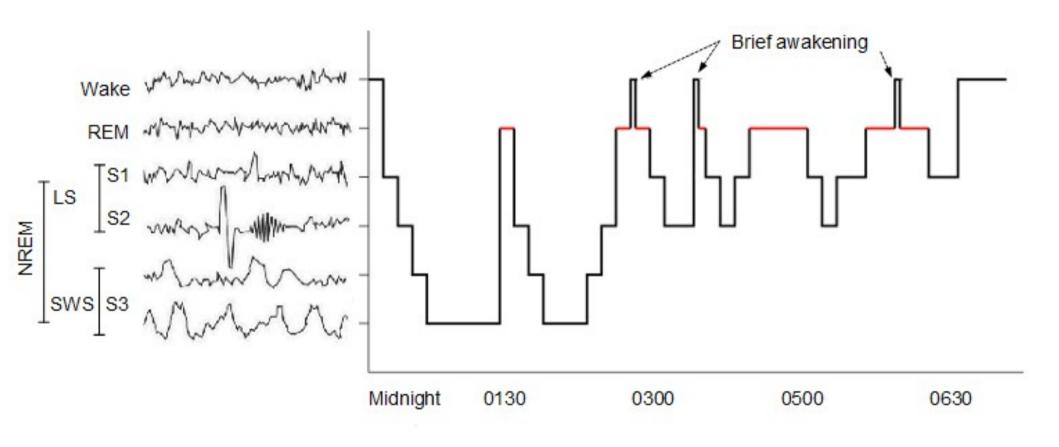


Amélioration de l'efficacité du sommeil



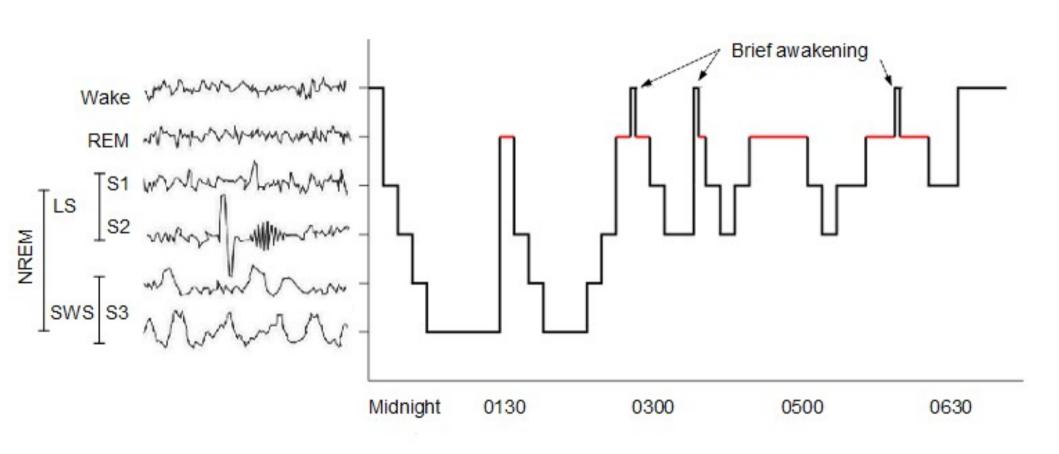
Slow oscillatory stimulation enhances declarative memory performance.

Pourquoi la stimulation n'est efficace que durant le sommeil profond (et pas le sommeil paradoxal)?



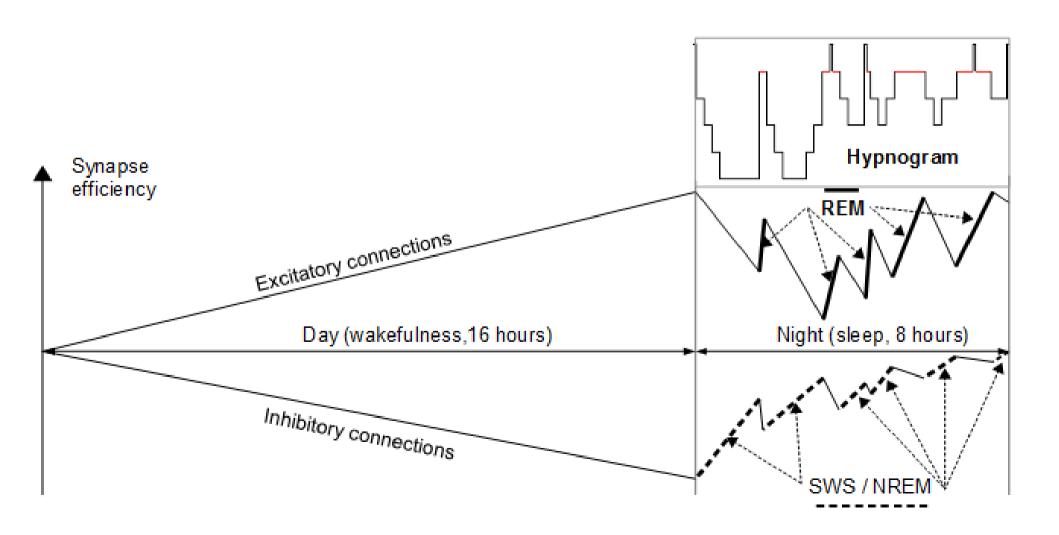
Durant les ondes lentes (EEG), il y a activation de l'ensemble des neurones d'une "région" corticale, indépendammant de la connectique → LTP.

A quoi sert le sommeil paradoxal?

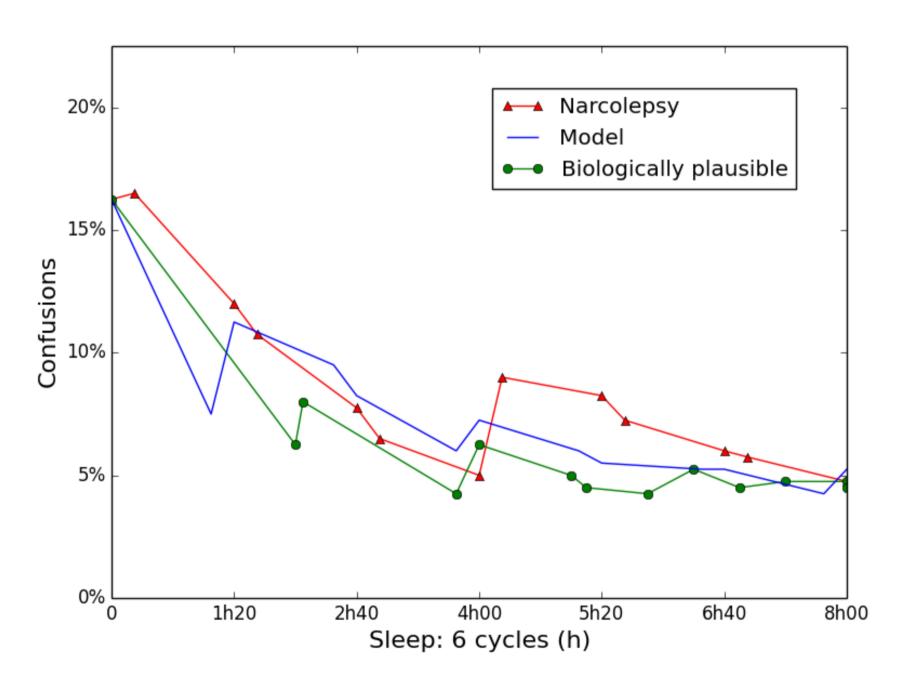


Rejouer (plus vite et dans le désordre) les activations de la journée afin d'éviter que le sommeil lent ne les efface.

Le sommeil est la période durant laquelle les synapses inhibitrices (dont l'efficacité a été érodée durant l'éveil) restorent leur efficacité.



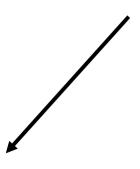
Une nuit de 6 cycles



Réorganisation dûe au sommeil paradoxal

9	_	_	8	7	7	_	6	6	6
9	3	8	_	7	7	6	6	_	6
9	_	_	7	7	7	_	6	4	4
_	9	_	8	7	7	5	5	5	4
_	9	8	_	_	_	5	_	4	_
9	9	8	8	_	8	_	5	_	4
9	_	_	1	_	8	2	_	5	3
0	0	8	_	2	2	_	3	_	3
0	_	2	1	2	_	_	3	_	3
0	2	_	2	1	1	1	_	5	_

9	9	_		7	7	7	6	6	6
9	-	9	9	_	_	7	_	6	_
9	_	8	_	7	7	7	7	6	6
3/9	1	8		8	_	_	5	_	5
9	8	_	8	8	2	2	_	_	5
_	1	8		_	2	2	2	_	5
0	-	8	_	2	_	2	_	_	5
0	0	8	1	_	3	3	4	4	_
0	0/9	1	1	_		-	4	4	4
0	0	_	10	3	3	5	3	_	4



Réf.: Pourquoi doit-on dormir?

- C. Touzet, "Sleep: the hebbian reinforcement of the local inhibitory synapses", *Medical Hypotheses*, 85:359-364, 2015.
- M. Rey et C. Touzet, "Modélisation de la succession sommeil lent / sommeil paradoxal pour lutter contre l'érosion cognitive au cours de la veille", *Le Congrès du Sommeil*, Strasbourg, 2016.

Réf. : Peut-on se passer de dormir ?

C. Touzet, "Morvan's syndrome and the sustained absence of all sleep rhythms for months or years: an hypothesis", *Med. Hypotheses*, 94:51-54, 2016.

Réf.: Les effets d'un mauvais sommeil?

C. Touzet, "Cognitive fatigue: an impaired cortical inhibitory replenishment", *Brain Injury*, to appear (2017).

Comment améliorer le sommeil ?

Sleep Lab, version 1.0 en date du 01/02/2016, Agence pour la Protection des Programmes, le 11/04/2017.

Titulaires des droits : CNRS, AMU, INSERM, CHR de Marseille (AP-HM)

Inventeurs : C. Touzet, M. Dumitrescu et M. Rey.



Ce qu'il faut retenir :

La performance cognitive diminue "naturellement" au cours de la journée au rythme de :

- 0.3% / h pour les représentations les plus "courantes" (5% sur une journée).
- 3% / h pour les représentations les plus "complexes" (45% sur une journée).

Cette baisse de performance est à moduler en fonction de l'utilisation, ou non, des cartes corticales impliquées.

La performance cognitive dépend également de la qualité du sommeil.

Représentations courantes vs complexes

```
9 - - 8 7 7 - 6 6 6 6

9 3 8 - 7 7 6 6 - 6

9 - - 7 7 7 - 6 4 4

- 9 - 8 7 7 5 5 5 4

- 9 8 - - - 5 - 4 -

9 9 8 8 - 8 - 5 - 4

9 - - 1 - 8 2 - 5 3

0 0 8 - 2 2 - 3 - 3

0 2 - 2 1 1 1 - 5 -
```

