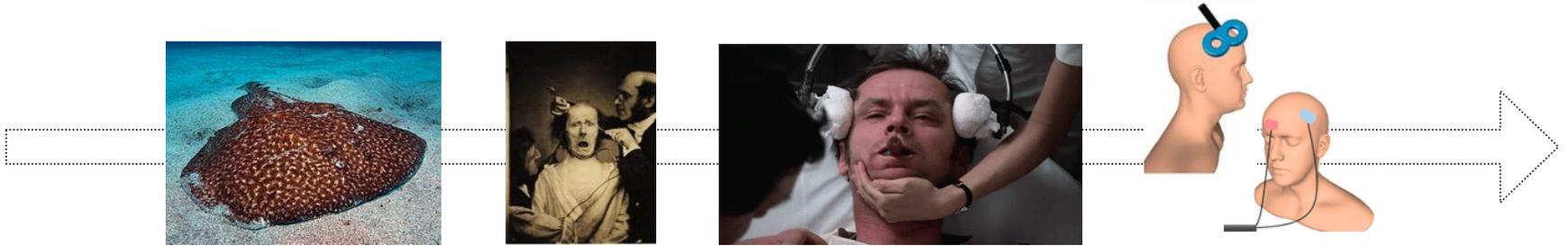


La stimulation transcrânienne par courant continu (tDCS)

Principes et Pratique

Marine Mondino

Histoire



43–48 : poisson torpille et douleur (Scribonius Largus)

18^{ème} siècle : travaux d'électrophysiologie (Galvani et Volta)

Aldini (1804) : application clinique → Naissance de l' électrothérapie

1960s : études chez l' animal, VS et patients psychiatriques

Depuis une 15aine d' années : mesure directe de l'impact de la tDCS sur la plasticité cérébrale (grâce à la TMS !)

Principe

Anode (+)

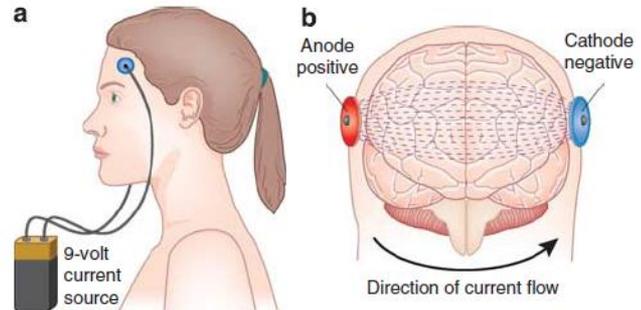
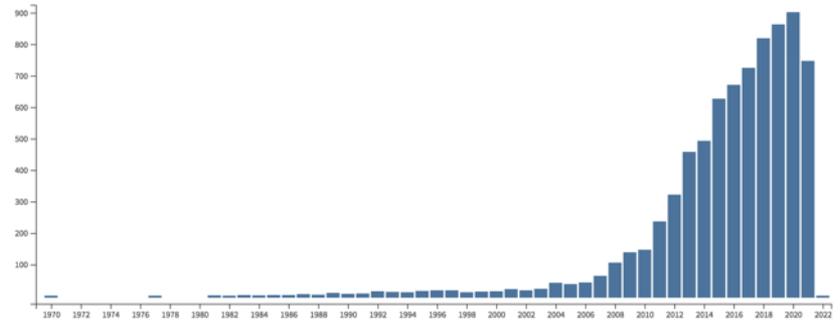
Cathode (-)



bandeau ou casque pour maintenir les électrodes

Total Publications
7691 Analyze

20% concernent la psychiatrie



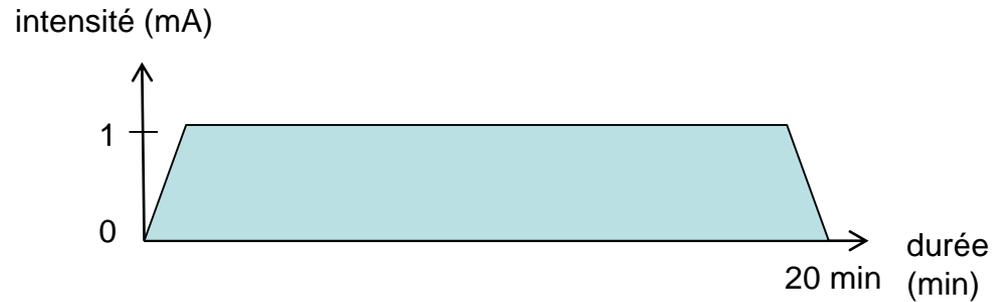
Courant continu de faible intensité (1 – 2 mA)

Deux électrodes de stimulation : anode (+) et cathode (-)

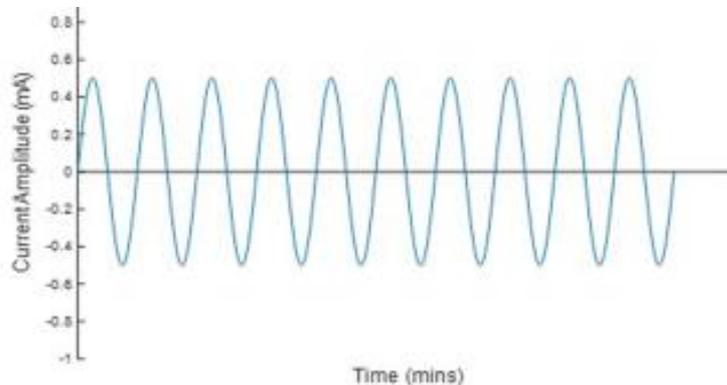
Principe

Une technique unique : courant continu

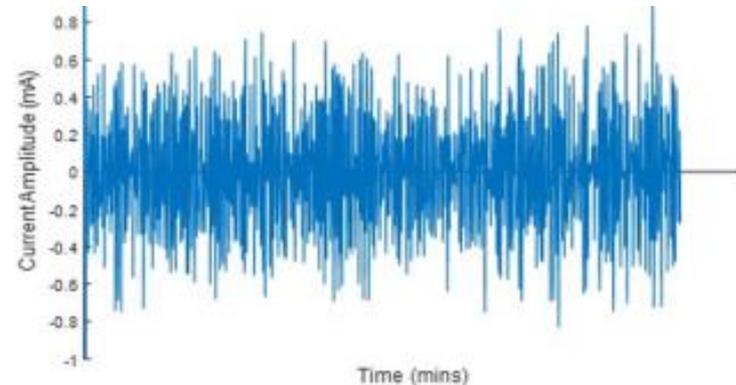
tDCS = courant direct = unidirectionnel (de l'anode à la cathode)



tACS = courant alternatif (changement de polarité)



tRNS = courant à fréquences randomisées



Effets de la tDCS

Etudes chez l'homme

Effets sur l'excitabilité corticale motrice :

Enregistrement des PEM après pulse de TMS

Avant et après 5 minutes de stimulation de M1 (anode ou cathode – 1mA)



PEM



5 minutes tDCS 1mA



PEM

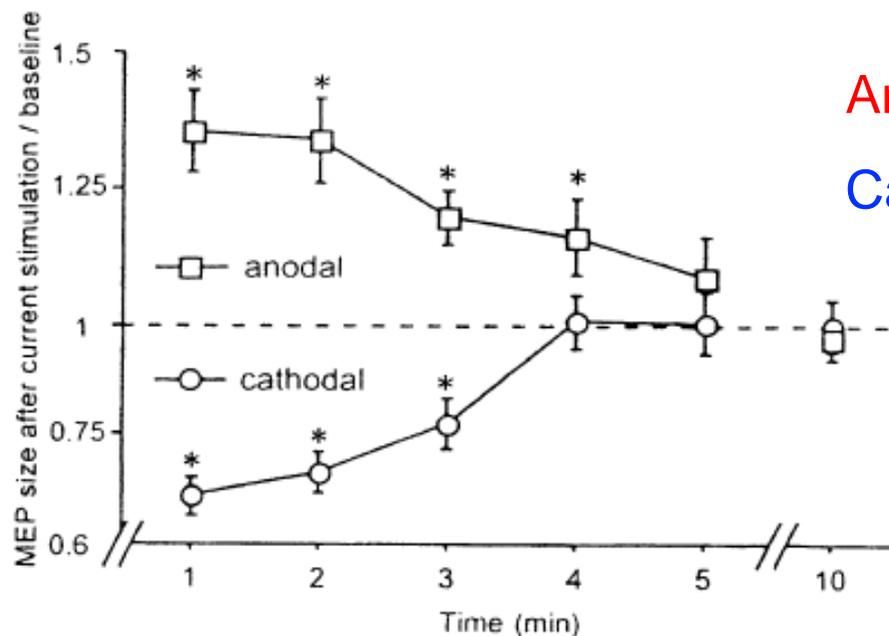
Effets de la tDCS

Etudes chez l'homme

Effets sur l'excitabilité corticale motrice :

Enregistrement des PEM après pulse de TMS

Avant et après 5 minutes de stimulation de M1 (anode ou cathode – 1mA)

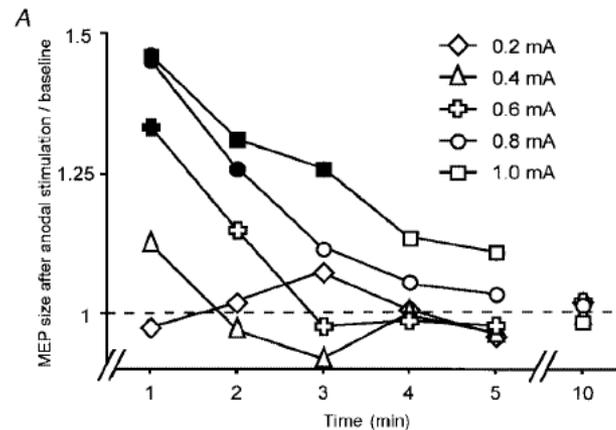


Anode : Augmentation amplitude MEP

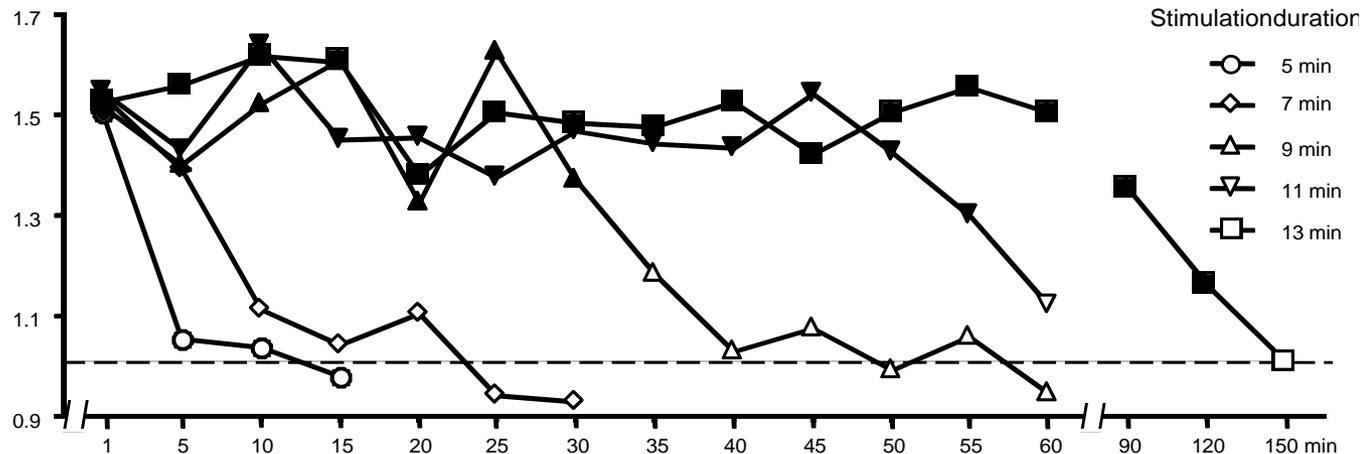
Cathode : Diminution amplitude MEP

Effets de la tDCS

- Effet aigu + important avec intensité + élevée

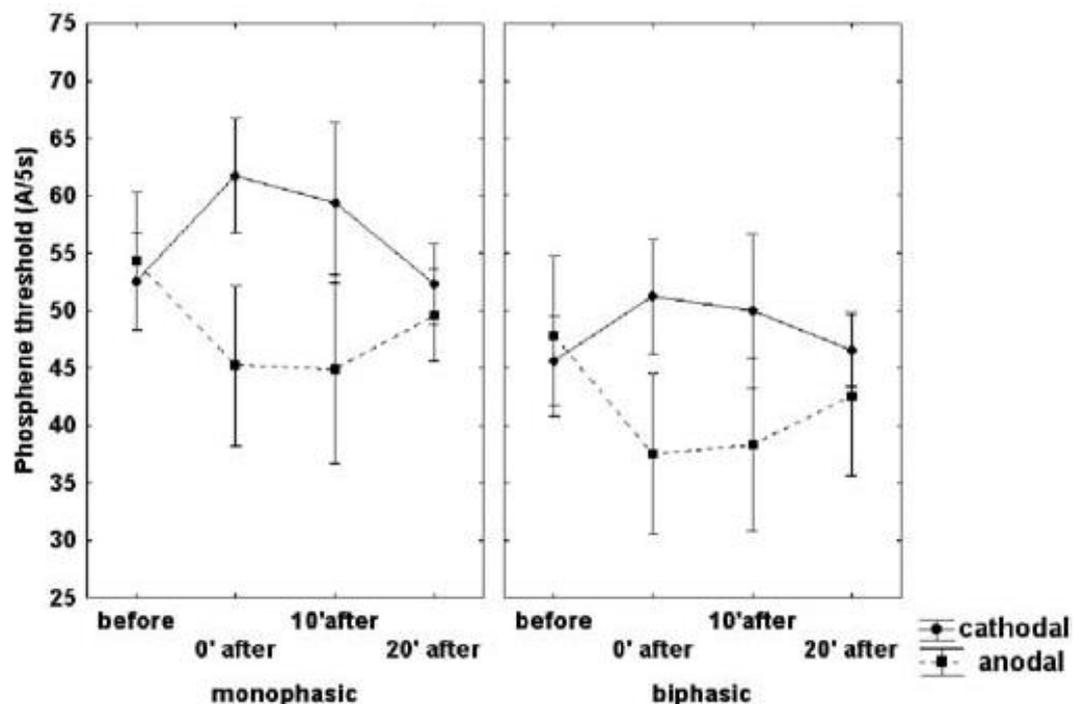
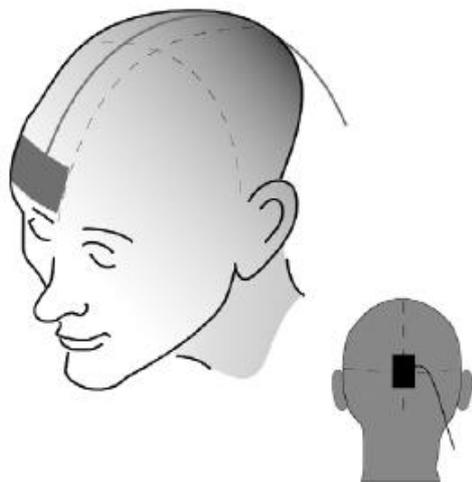


- Effet plus durable pour les stimulations plus longues



Effets de la tDCS

Effets sur phosphènes évoqués par stimulation du cortex visuel (Antal et al., 2004)

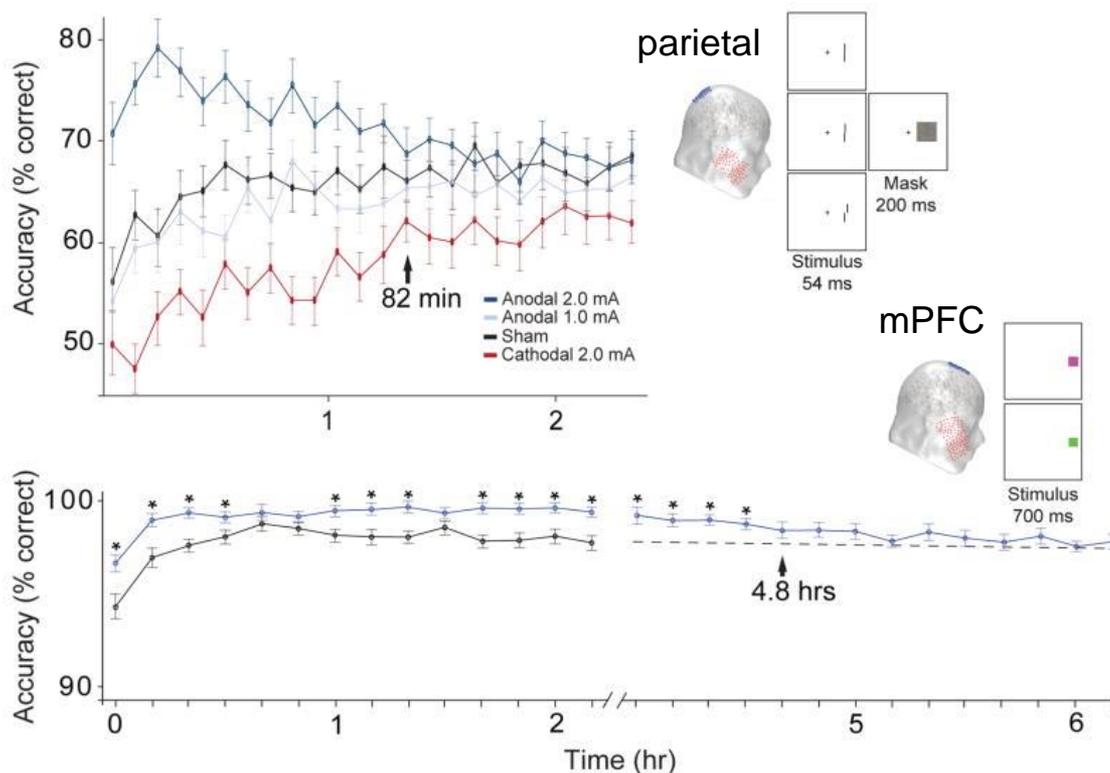


Anode : Diminution seuil phosphènes

Cathode : Augmentation seuil phosphènes

Durée des effets de la tDCS

- Etudes sur le cortex moteur : jusqu'à 90 minutes après une session de 20 minutes (Nitsche and Paulus, 2001)
- Durée de l'effet dépend des cortex : plus long sur le cortex préfrontal que les cortex moteurs et visuels → effet comportemental **jusqu'à 5h après une session de 20 min** (Reinhadt et al., 2017)



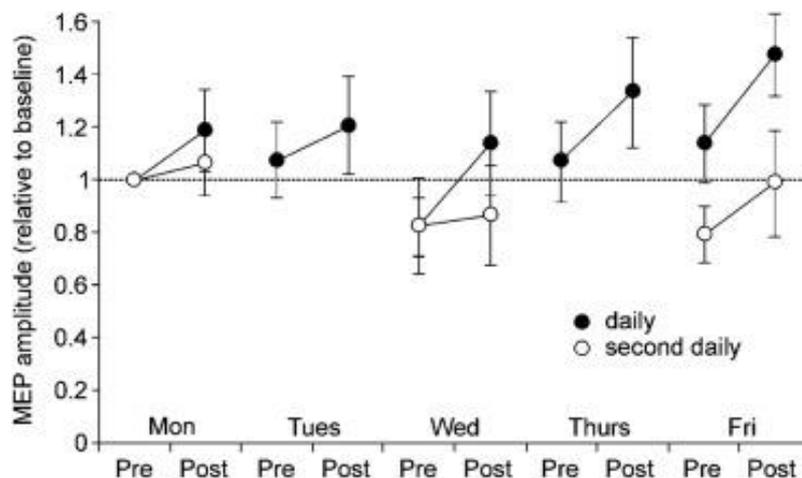
Effets cumulatifs de la tDCS

Répétition des sessions : effets plus stables et durables (Boggio 2007)

Chez l'animal : études suggèrent un effet cumulatif des sessions de tDCS (Rueger et al., 2012; Rushmore et al., 2013)

Chez l'homme : **effets cumulatifs des séances quotidiennes** (Galvez et al., 2013: MEP; Dumel et al., 2016: Motor learning; Fregni et al., 2006 : douleur, etc) → mais difficile d'avoir un bon groupe contrôle

Alonzo et al., 2012 : effet cumulatif des séances quotidiennes vs séances tous les 2 jours



Sécurité

Pas d'effets indésirables graves rapportés sur plus de 200 études publiées attribuables à la tDCS

(33200 sessions sur 1000 sujets avec sessions répétées – Bikson et al 2016)

1 cas de crise épileptique (chez un enfant épileptique – Ekici 2015)

1 cas de suicide (patient MDD dans un RCT – Loo et al 2010)

→ Pas de causalité avec la tDCS rapportée dans ces 2 cas

Réactions cutanées transitoires sous la cathode (front et bras) → dues à une mauvaise utilisation du matériel (électrolyte) ou problèmes cutanés/tatouage.

(Poreisz et al., 2007 ; Kessler et al., 2011 ; Brunoni et al., 2011)

Sécurité

Pas d'effets indésirables graves rapportés sur plus de 200 études publiées attribuables à la tDCS

(33200 sessions sur 1000 sujets avec sessions répétées – Bikson et al 2016)

1 cas de crise épileptique (chez un enfant épileptique – Ekici 2015)

1 cas de suicide (patient MDD dans un RCT – Loo et al 2010)

Pas

Réa

(Pore



Figure 1 Skin lesion (diameter 0.5 cm) occurring after one week of tDCS treatment at 2 mA stimulation intensity.

oportée

ous les

oni et al.,



on

Tolérance

Table 2 Side effects during and after tDCS—proportion of sessions associated with side effects

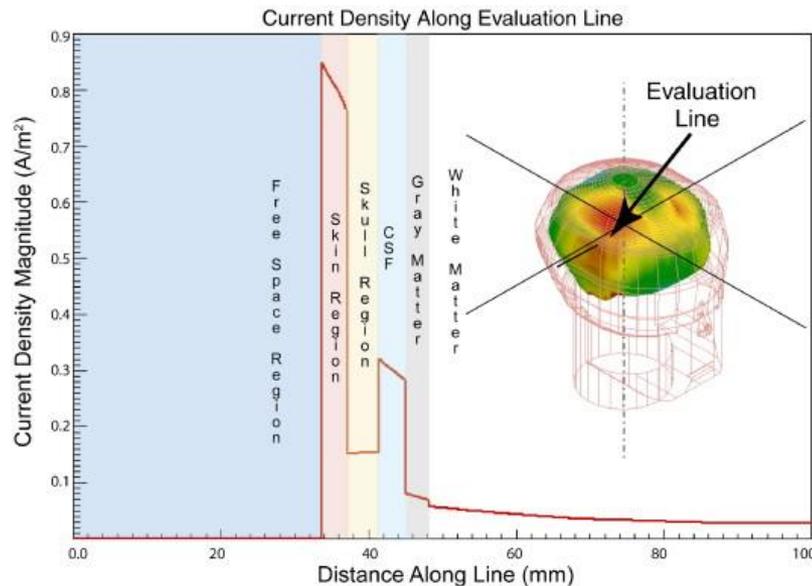
Side effect	Total (n = 277) % (n)	Active (n = 183) % (n)	Sham (n = 94) % (n)	P value ^a
During				
Headache	13.4 (37)	15.3 (28)	9.6 (9)	.20
Difficulties concentrating	35.7 (99)	41.5 (76)	24.5 (23)	<.01
Acute mood changes	6.9 (19)	8.2 (15)	4.3 (4)	.32
Changes in visual perception	15.5 (43)	18.6 (34)	9.6 (9)	.10
Tingling	76.9 (213)	89.1 (163)	53.2 (50)	<.001
Itching sensation	68.2 (189)	81.4 (149)	42.6 (40)	<.001
Burning sensation	54.2 (150)	65.0 (119)	33.0 (31)	<.001
Pain	24.9 (69)	31.7 (58)	11.7 (11)	<.001
Fatigue	20.9 (58)	19.7 (36)	23.4 (22)	.53
Nervousness	10.1 (28)	12.6 (23)	5.3 (5)	.06
Visual sensation associated with start/end of stimulation	12.3 (34)	13.7 (25)	9.6 (9)	.44
After				
Headache	13.4 (37)	15.3 (28)	9.6 (9)	.20
Difficulties concentrating	20.2 (56)	23.0 (42)	14.9 (13)	.15
Acute mood changes	11.9 (33)	14.8 (27)	6.4 (6)	.05
Changes in visual perception	0 (0)	0 (0)	0 (0)	—
Tingling	24.9 (69)	30.6 (56)	13.8 (13)	<.01
Itching sensation	25.6 (71)	33.3 (56)	10.6 (10)	<.001
Burning sensation	12.3 (34)	16.9 (31)	3.2 (3)	<.01
Pain	5.1 (14)	6.0 (11)	3.2 (3)	.40

Ramp up/down pour éviter phénomène de flash (au moins 30s, plus les ramps sont courtes plus les sensations sont désagréables)

^a Two-sided Fisher exact test.

Mécanismes d'action

- Le courant ne passe pas en ligne droite entre l'anode et la cathode
- + de densité de courant à proximité des électrodes
- diffuse préférentiellement dans les tissus avec une faible résistivité (e.g., CSF, peau)



« Shunting » par la peau et le CSF

→ Seule une petite quantité du courant injecté va atteindre le cerveau (45%)

(Rush and Driscoll, 1968)

Mécanismes d'action

Du fait de la particularité des tissus, difficile d'estimer comment passe le courant

→ modèles computationnels

$$EF = \text{current density} * \text{resistivity}$$

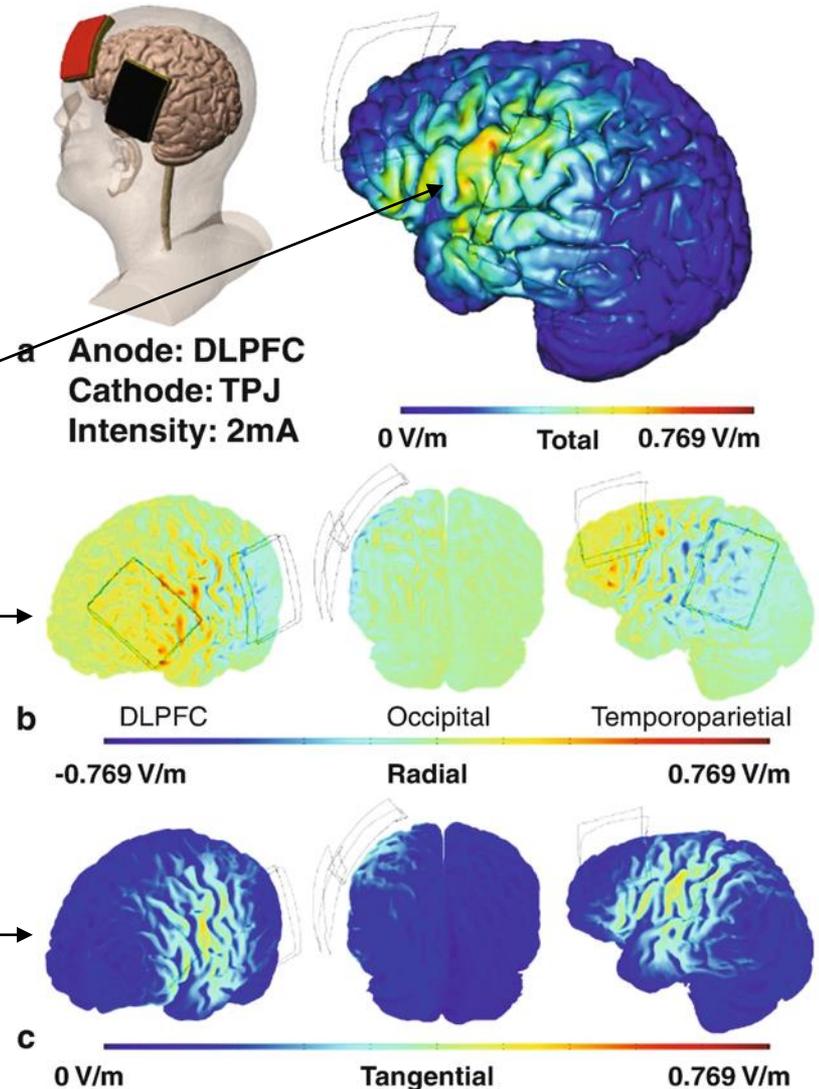
Courant max entre les électrodes

Direction du courant : courant radial

courant tangential

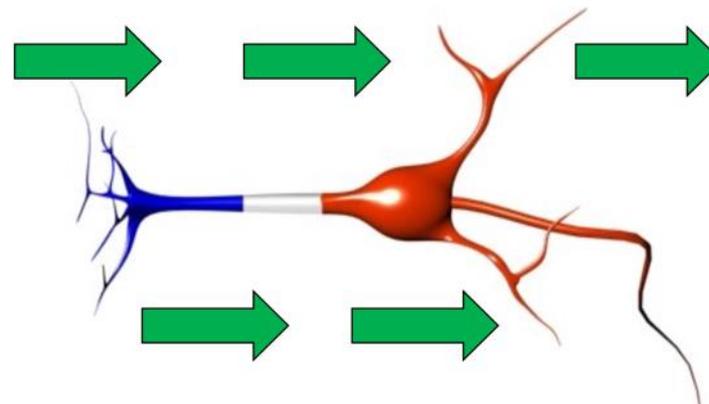
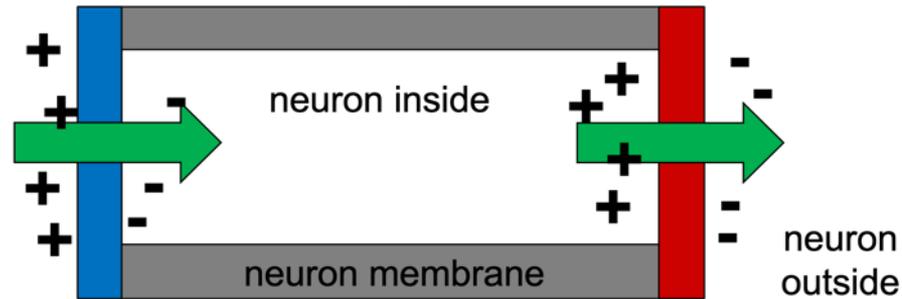
tDCS = 0.3-0.5V/m

rTMS = 100 V/m



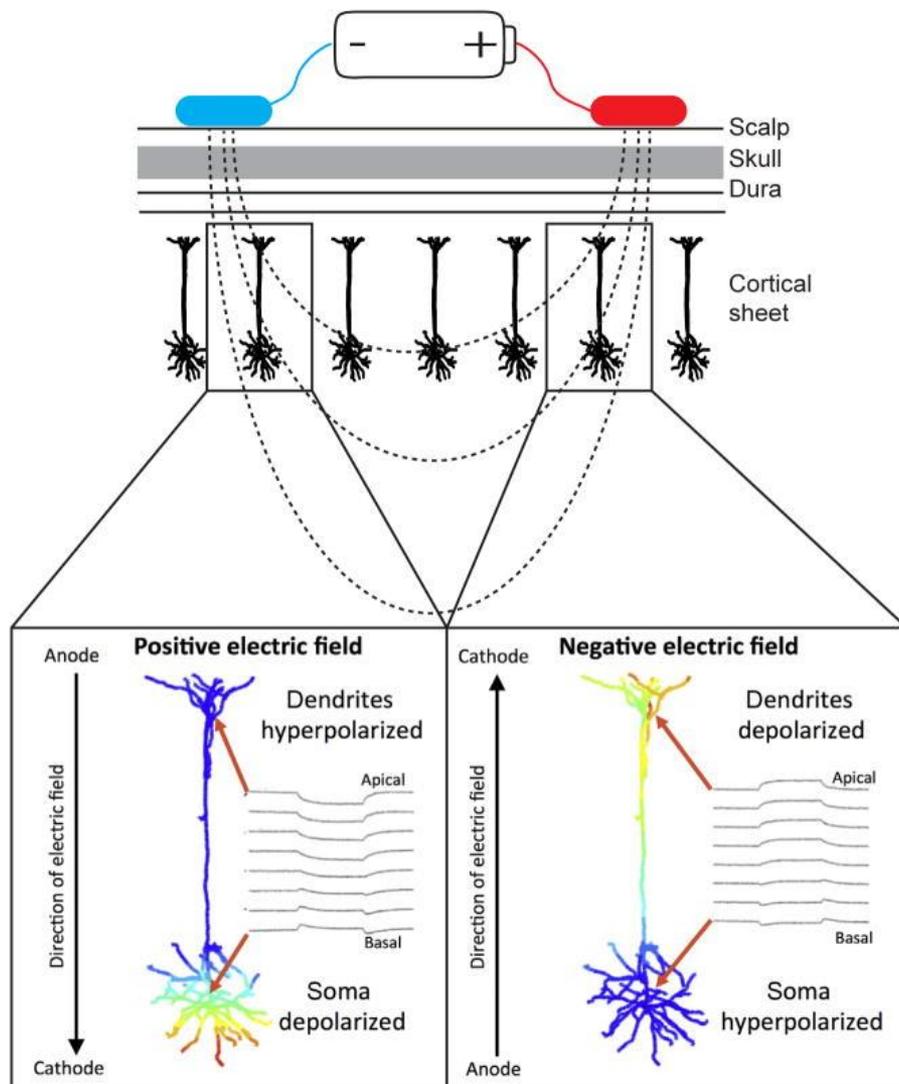
Mécanismes d'action

Current flowing into the neurons **hyperpolarizes**.
Current flowing out of the membrane **depolarizes**.



effet dépend de l'intensité du courant

Mécanismes d'action



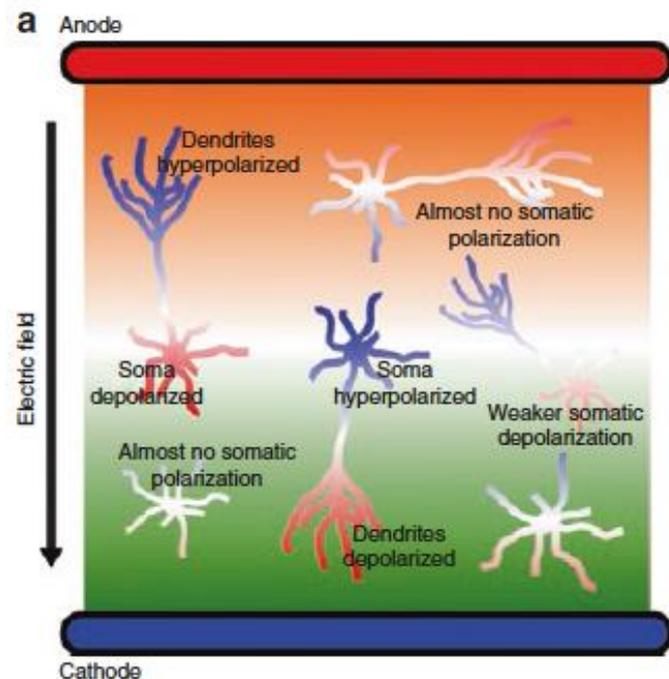
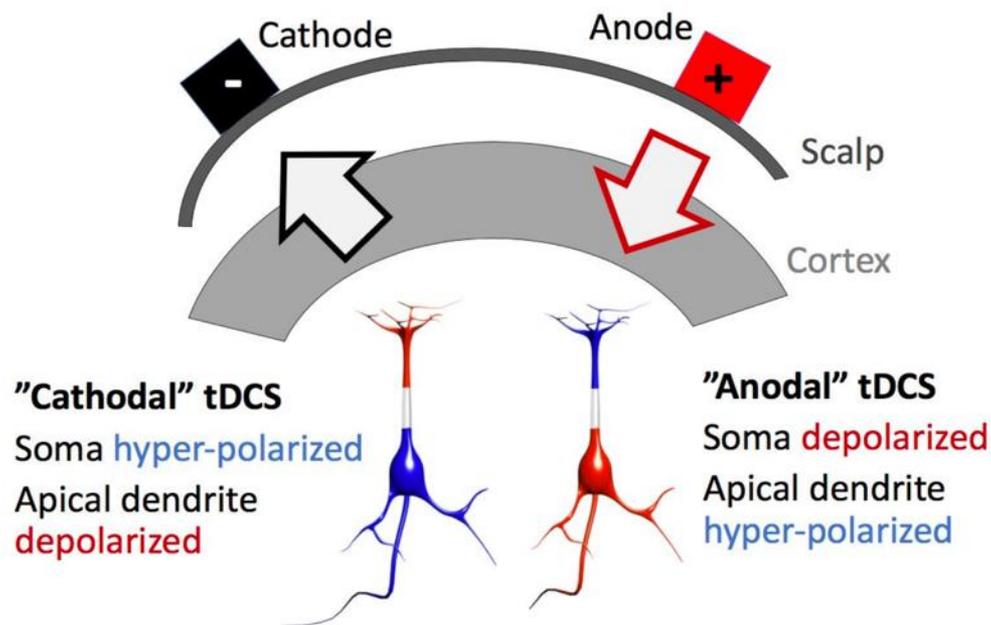
Effets sur l'excitabilité corticale dépendants de la polarité :

anode : augmente l'excitabilité corticale

cathode : diminue l'excitabilité corticale

Mécanismes d'action

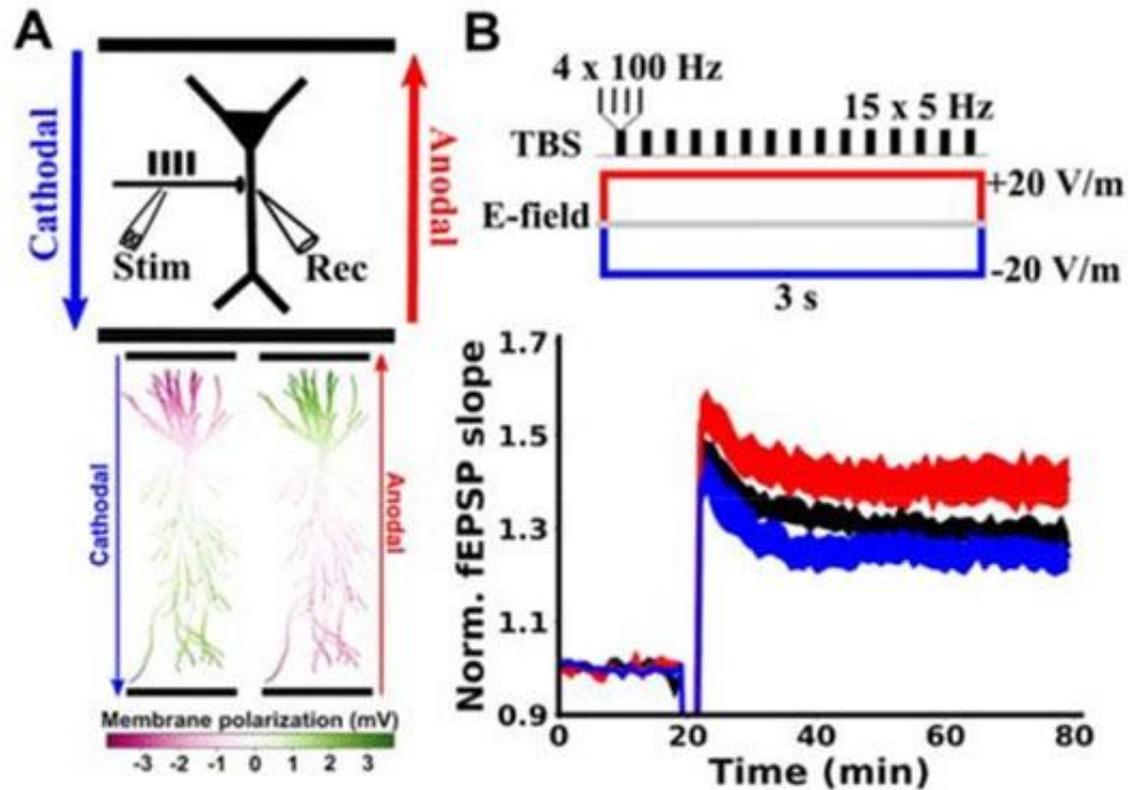
anode excitatrice et **cathode inhibitrice** : une façon simplifiée de rationaliser les effets de la tDCS



A noter : La tDCS ne suffit pas à générer des potentiels d'action, contrairement à la rTMS

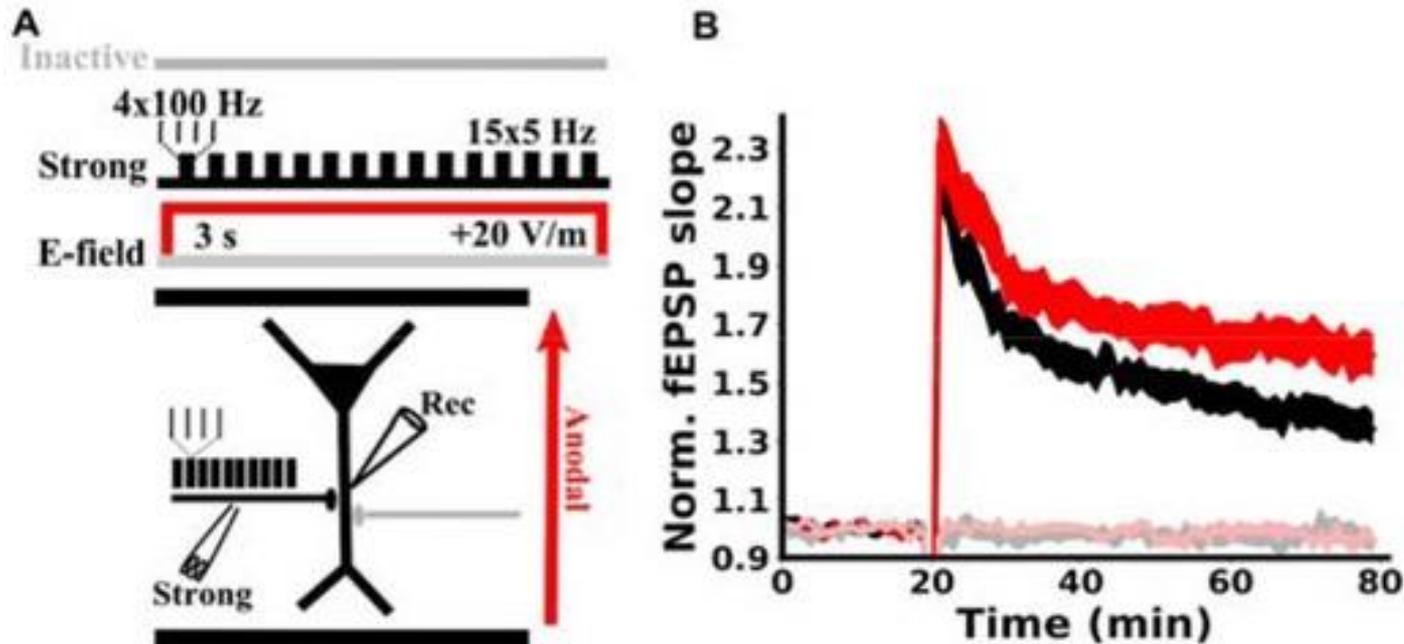
tDCS : booster de l'activité endogène

La tDCS va moduler l'activité de neurone déjà en activité



tDCS : booster de l'activité endogène

mais ne génère pas de LTP au niveau des synapses inactives



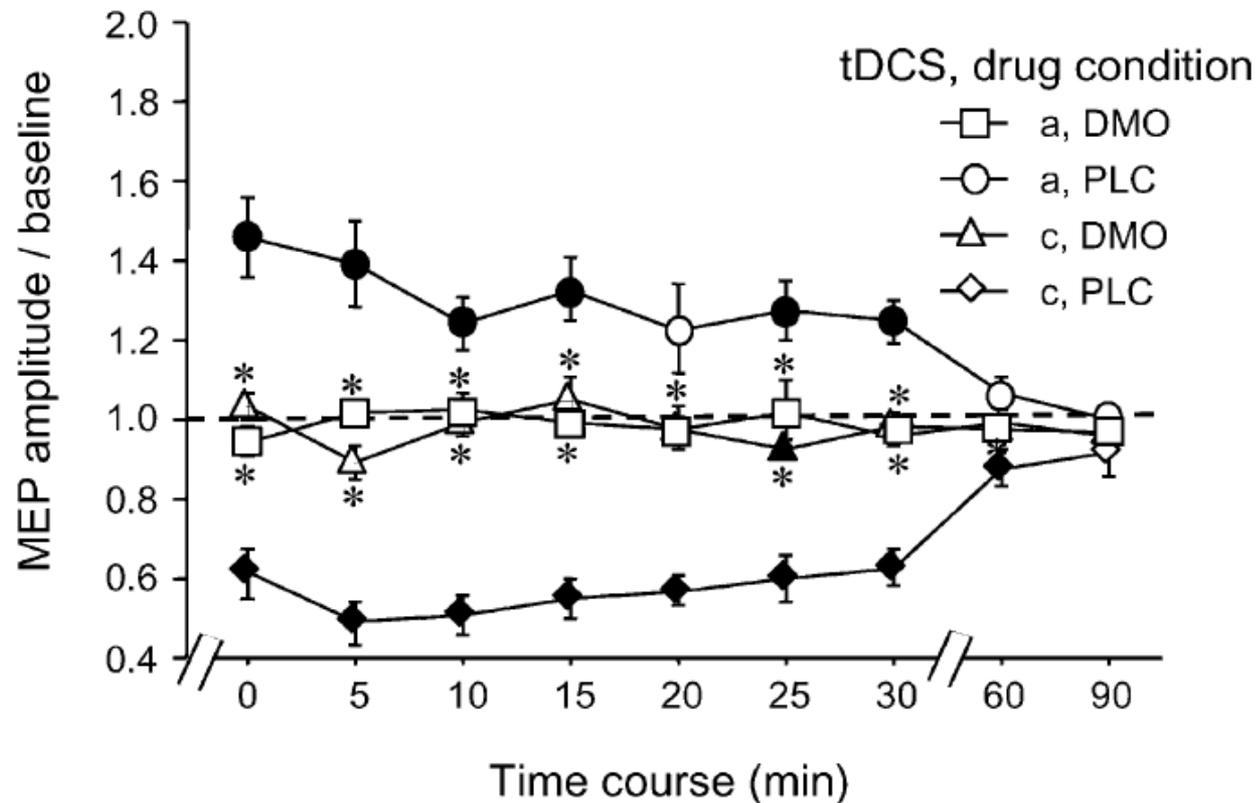
Seuls certaines synapses vont bénéficier des effets de la tDCS: celles déjà actives
→ **functional targeting**

Combiner la stimulation avec une tâche ?

Kronberg et al., 2020

Mécanismes d'action

- **Suppression** des effets de l'anode par bloqueurs des canaux Na^+ et par les bloqueurs des Ca^{2+}
- **Suppression des effets** par antagonistes des récepteurs NMDA (DMO)

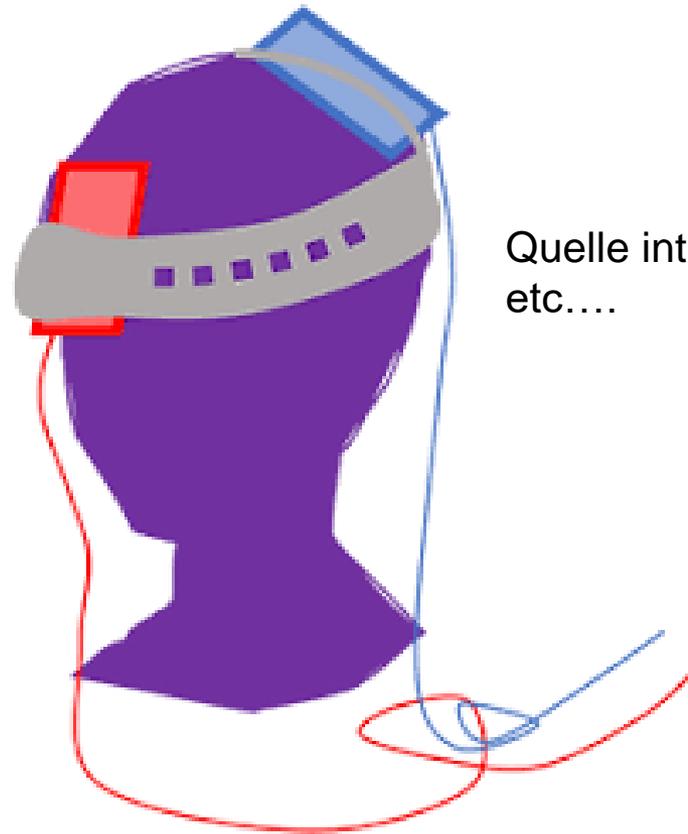
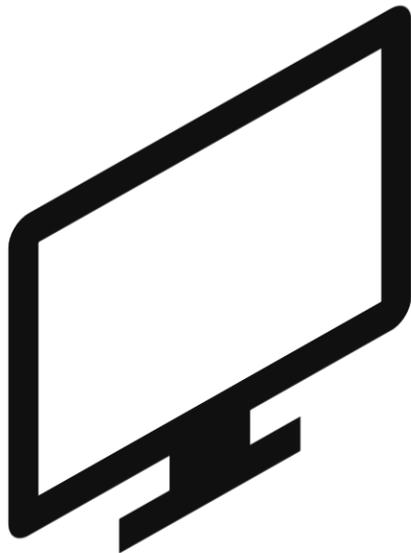


Et en pratique ?

Quelle dose ?

quel montage d'électrodes ?

Pendant une tâche ou au repos ?

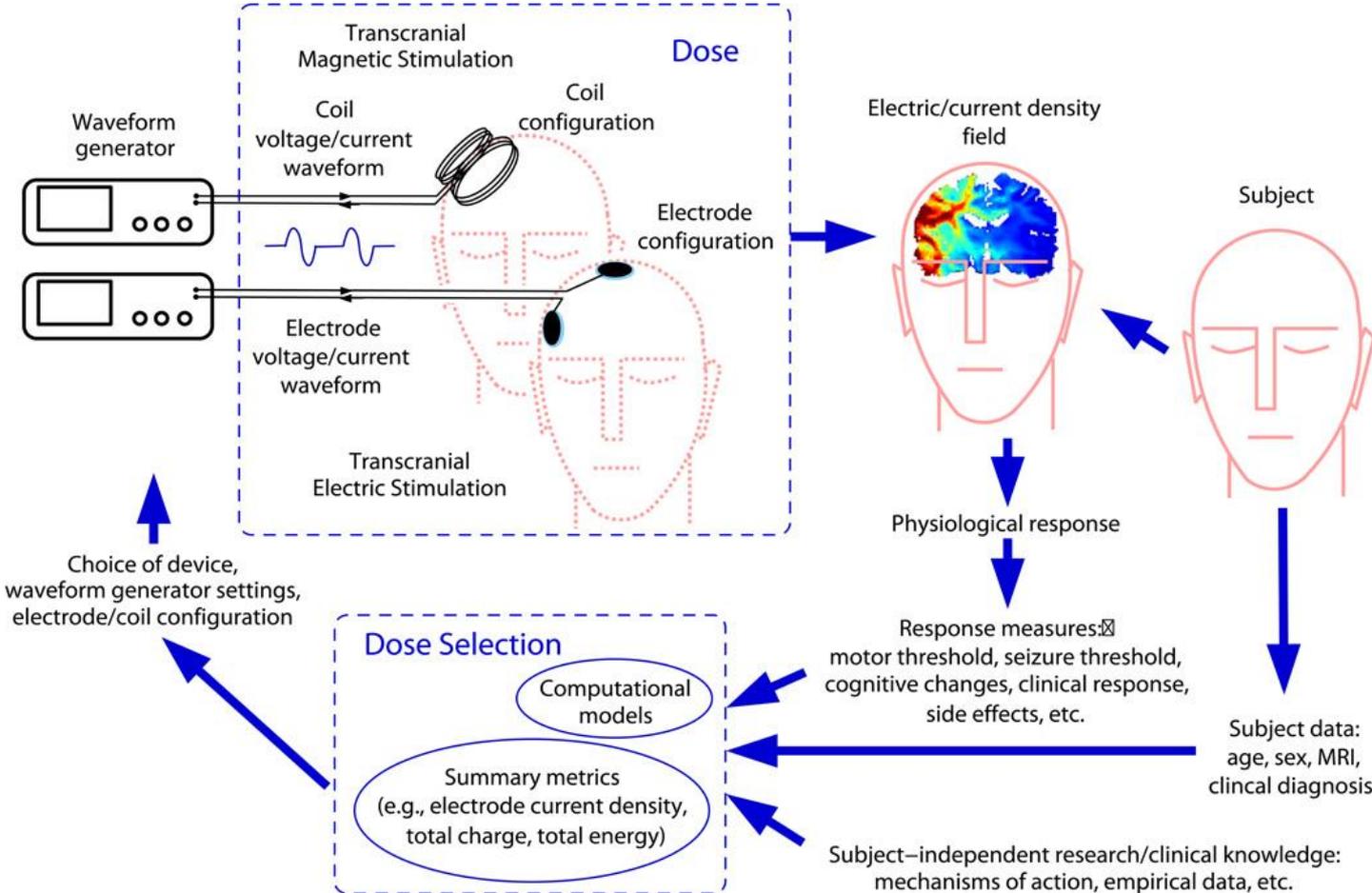


Quelle intensité, durée,
etc....

La dose



Reproductibilité



La dose

- Type de courant
- Intensité du courant
- Durée de la stimulation
- Montage des électrodes : position, orientation
- Taille des électrodes
- Nombre de sessions
- Intervalle entre les sessions répétées



Stimulation Anodale /Cathodale ??
→ raccourci, site à proximité

Randomized Controlled Trial > JAMA Psychiatry. 2020 Feb 1;77(2):121-129.

doi: 10.1001/jamapsychiatry.2019.3199.

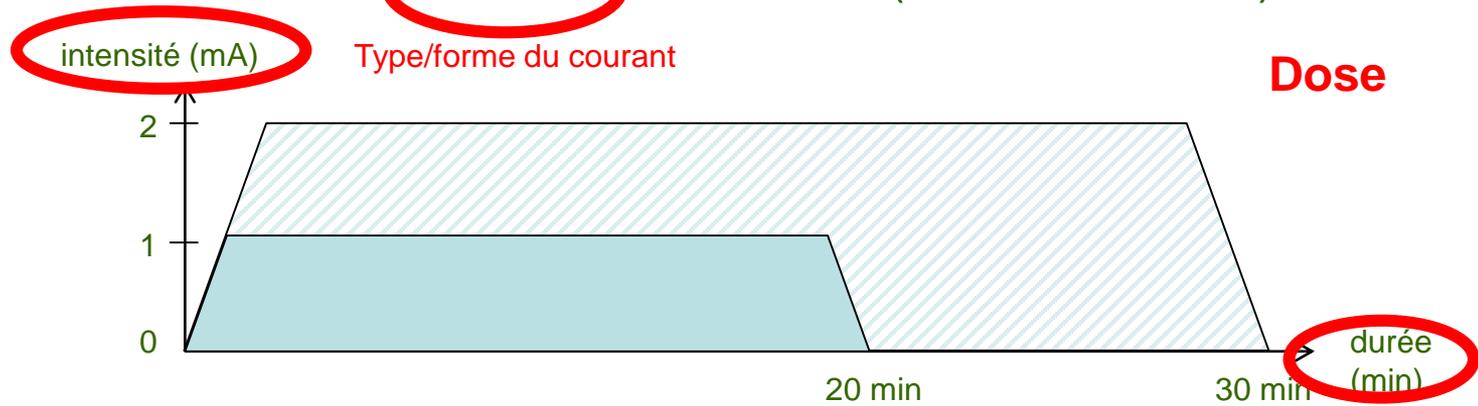
Efficacy and Safety of Transcranial Direct Current Stimulation for Treating Negative Symptoms in Schizophrenia: A Randomized Clinical Trial

Leandro da Costa Lane Valiengo¹, Stephan Goerigk^{2 3 4}, Pedro Caldana Gordon^{1 5}, Frank Padberg², Mauricio Henriques Serpa⁶, Stephanie Koebe¹, Leonardo Afonso Dos Santos⁷, Roger Alberto Marcos Lovera⁷, Juliana Barbosa de Carvalho¹, Martinus van de Bilt¹, Acioly L T Lacerda⁸, Helio Elkis⁹, Wagner Farid Gattaz¹, Andre R Brunoni^{1 10}

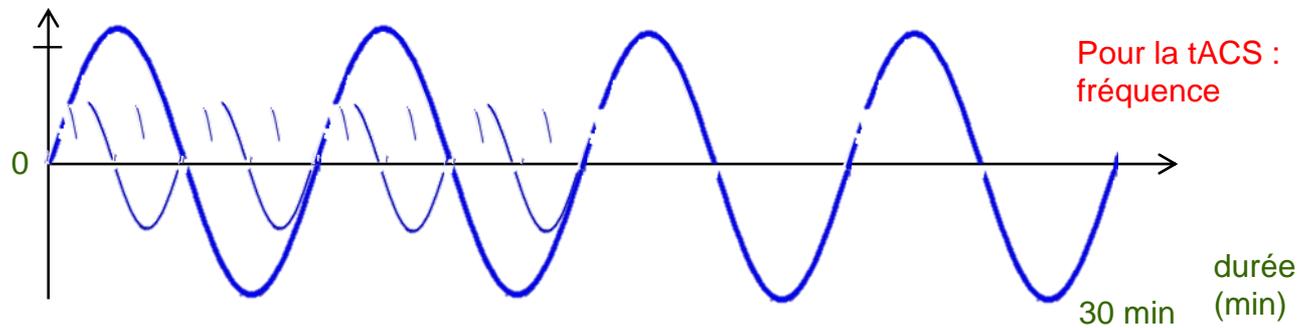
« Participants laid in reclining, comfortable chairs to receive the treatment, which lasted **20 minutes** (ramp-up and ramp-down periods of 40 seconds). The following stimulation parameters were used: **2 mA**; **5 × 7 cm²** electrodes, with the anode centered over the area corresponding to the left dorsolateral PFC and the cathode centered over the area corresponding to the left temporoparietal junction; and use of the electroencephalography 10–20 system (**F3** and **T3P3** areas, respectively) »

Le courant

tDCS = **courant direct** = unidirectionnel (de l'anode à la cathode)

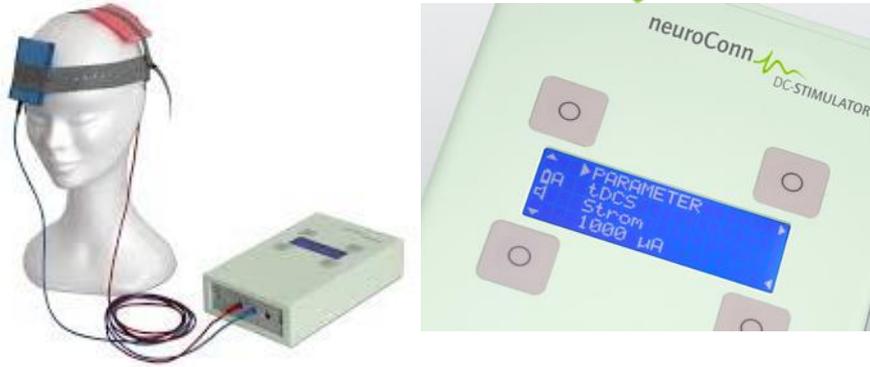


tACS = courant alternatif (changement de polarité)

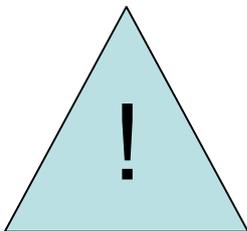


Appareils de tDCS certifiés (DM)

neuroConn 



Appareils de tDCS – DIY / Wellness



- S'assurer de l'intensité du courant délivré
- Sécurité : Limite d'intensité max
- Mesure de l'impédance (sécurité)
- Ramp-up/ramp-down réglable
- Programmable (durée, intensité)

Electrodes - Electrolytes

Electrode : site de réactions électrochimiques, ne doit pas être en contact direct avec la peau



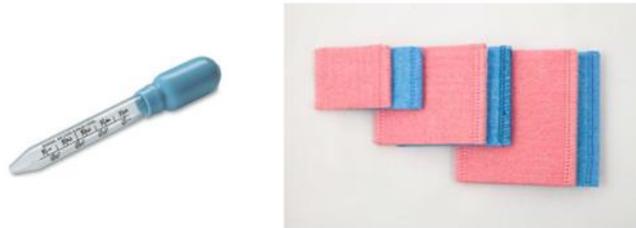
Rubber electrodes (biocarbon) ou métalliques

Préparation des électrodes : vérification de l'état

Electrolyte : faciliter le passage du courant – tampon entre l'électrode et la peau

Objectif : maintenir impédance $< 15k\Omega$ (sécurité appareil)

Eponges et Saline



- 4mL par face de NaCl (0.9%)
- Attention aux ponts (trop de saline)
- Attention à la reproductibilité
- Jamais d'eau
- Jamais appliquer avec éponges sèches

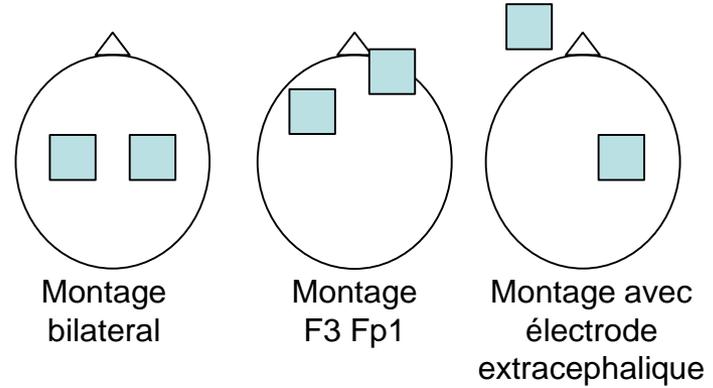
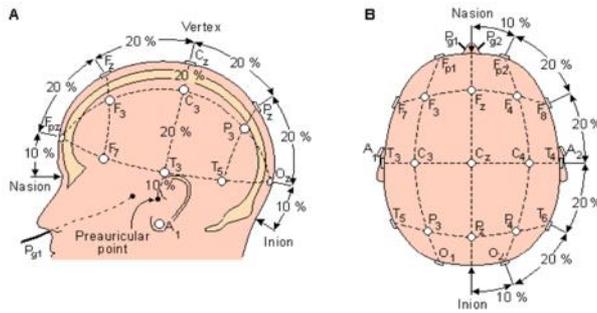
Electrode paste



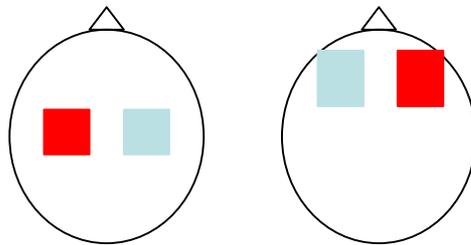
- Moins bonne impédance
- Couche épaisse (3mm)

Le montage

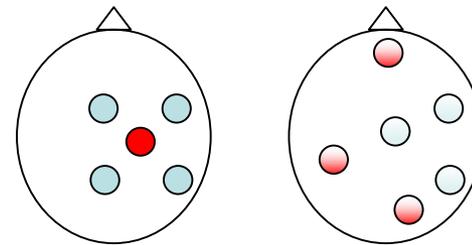
Placement des électrodes : Système 10-20 de placement des électrodes EEG



taille et nombre d'électrodes



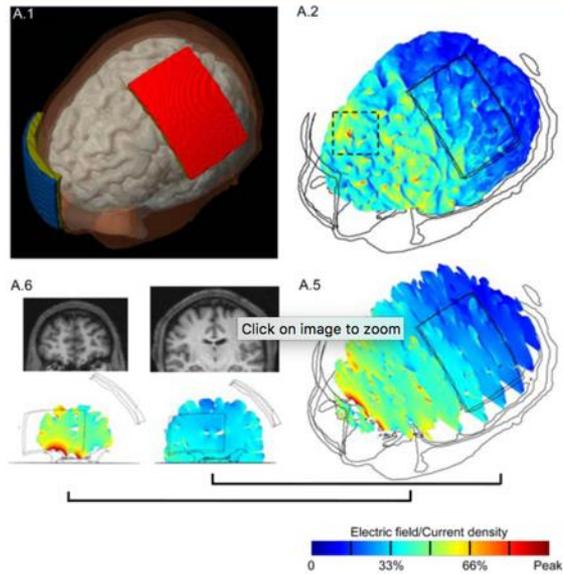
tDCS conventionnelle



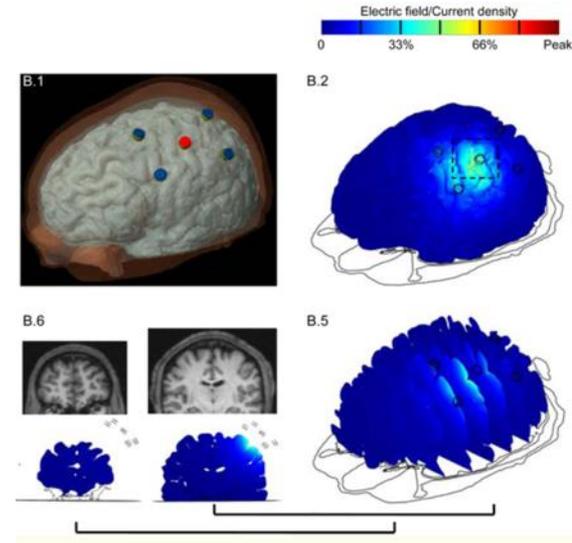
tDCS haute-définition (HD-tDCS)

Le montage

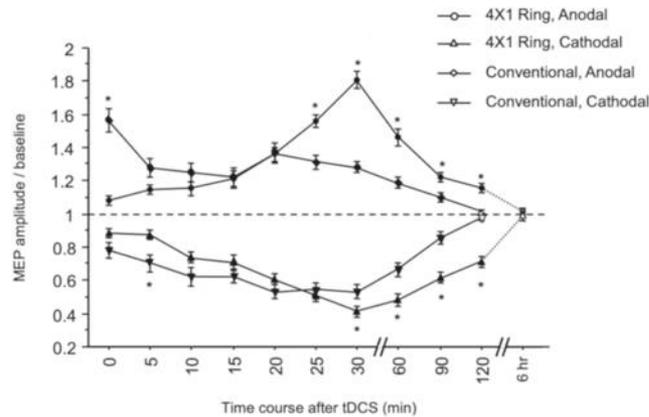
tDCS conventionnelle



HD-tDCS



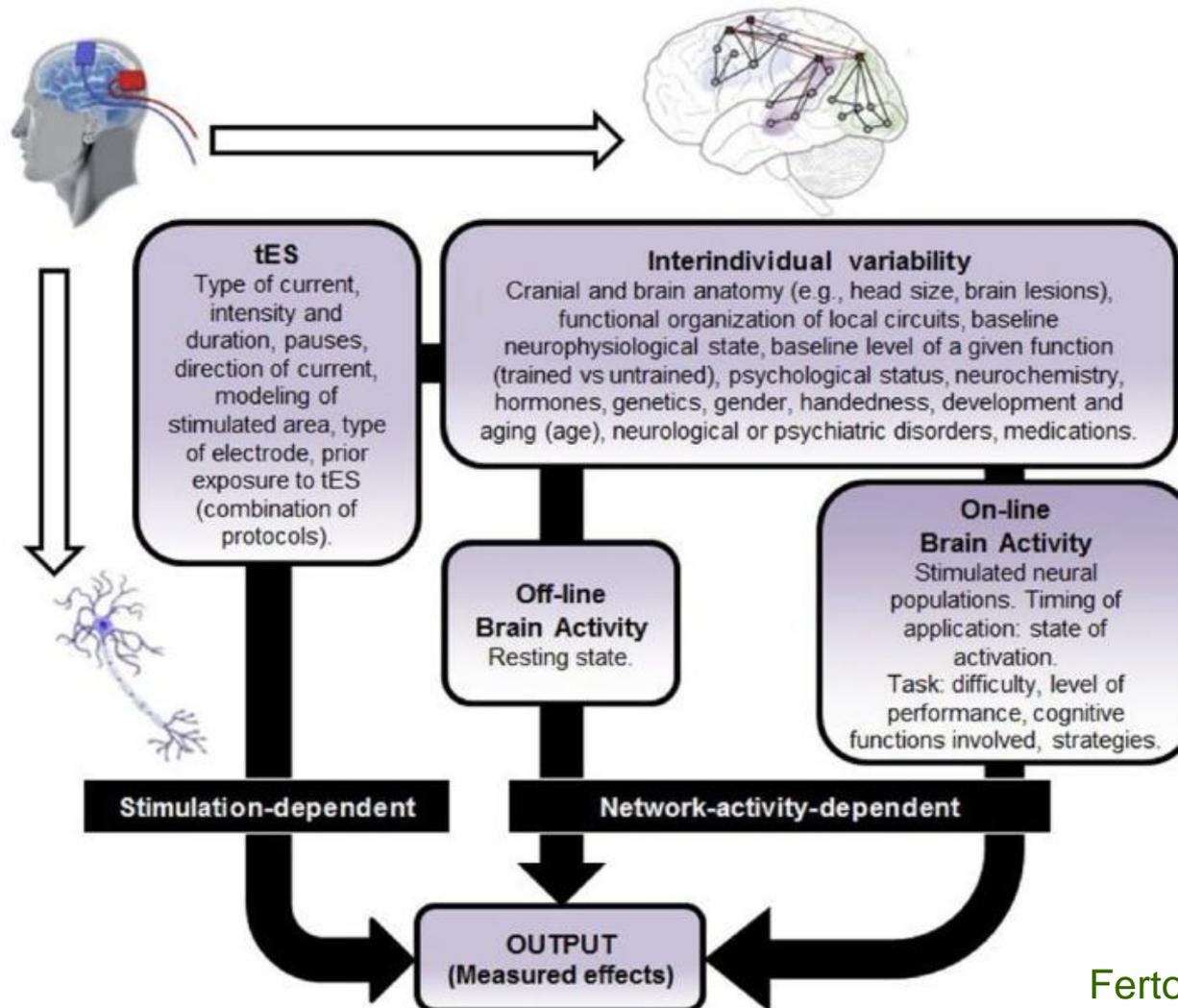
effet + ample et + durable



from Datta et al., 2009

Facteurs influençant l'effet

La dose ne nous dit rien de l'effet mesuré !



Pratique - Matériel nécessaire

Appareil tDCS

Electrodes

Éponges

NaCl

Cables

Bandeau pour faire tenir électrodes

Mètre pour placement des électrodes + système 10-20



Questionnaire pré-tDCS (from Antal et al 2018)

Une réponse positive n'est pas une contre indication absolue mais le ratio bénéfique/risque doit être pris en compte

	OUI	NON
Implants électronique ou métallique (sauf titanium) dans le cerveau ou le crane ? (ex DBS, implant cochléaire) Si oui: localisation et métal : _____		
Matériel électronique ou métallique dans d'autres parties du corps ? Si oui: localisation et métal : _____		
Antécédents de chirurgie impliquant la tête ou la moelle épinière Si oui: localisation : _____		
Antécédents de traumatisme crânien avec perte de connaissance		
Problème dermatologique (psoriasis, eczéma, dermatose) Si oui: type et localisation : _____		
Antécédents d'épilepsie ou de crise convulsive		
Antécédents d'évanouissements ou de syncope		
Grossesse ou risque de grossesse		
Traitement en cours Si oui lesquels: _____		
Avez-vous déjà reçu de la tDCS ou de la TMS et si oui avez-vous des effets indésirables Si oui lesquels: _____		

Questionnaire sur les effets secondaires aigus de la tDCS (from Antal et al 2018)

Cotation de la sévérité:

1- absent, 2- léger, 3- modéré, 4- sévère

Symptômes	Sévérité	Note
Démangeaisons		
Douleur		
Sensation de brûlure		
Chaleur		
Goût métallique		
Fatigue / baisse de concentration		
Autre (spécifier)		