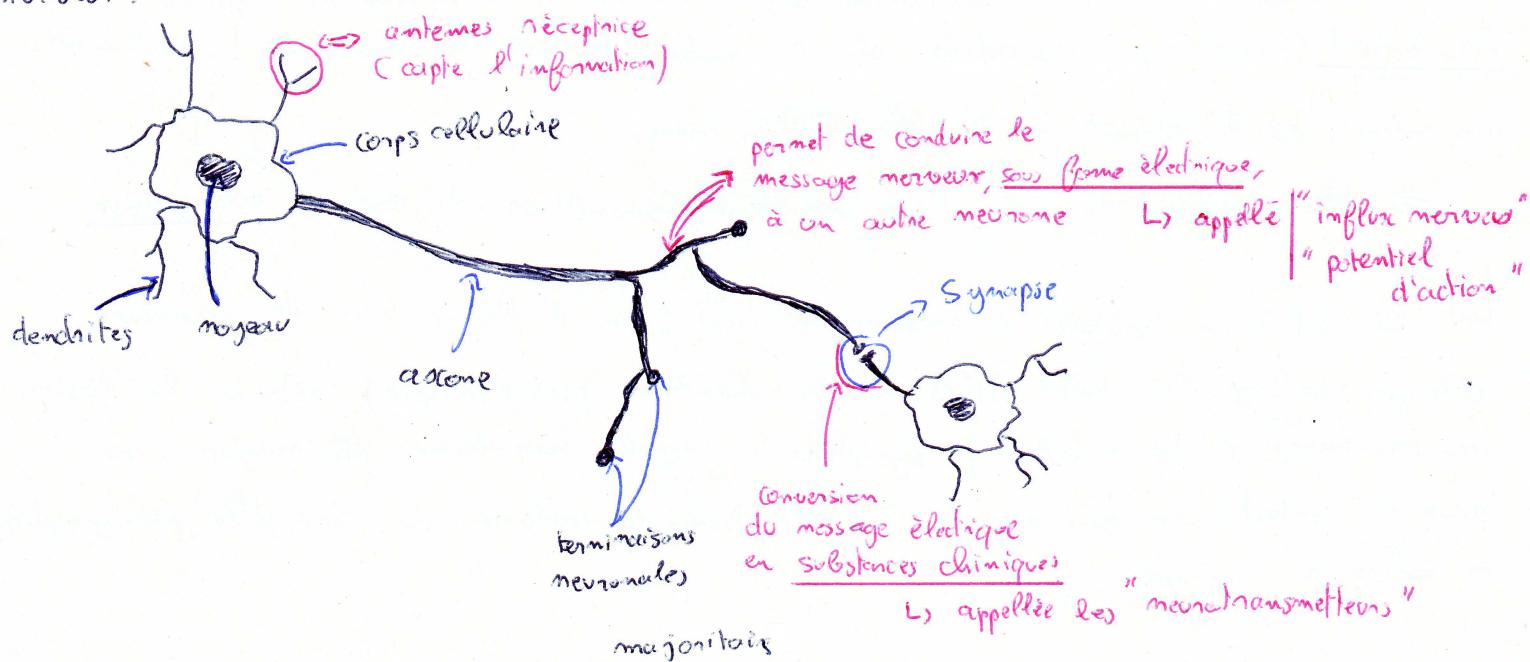


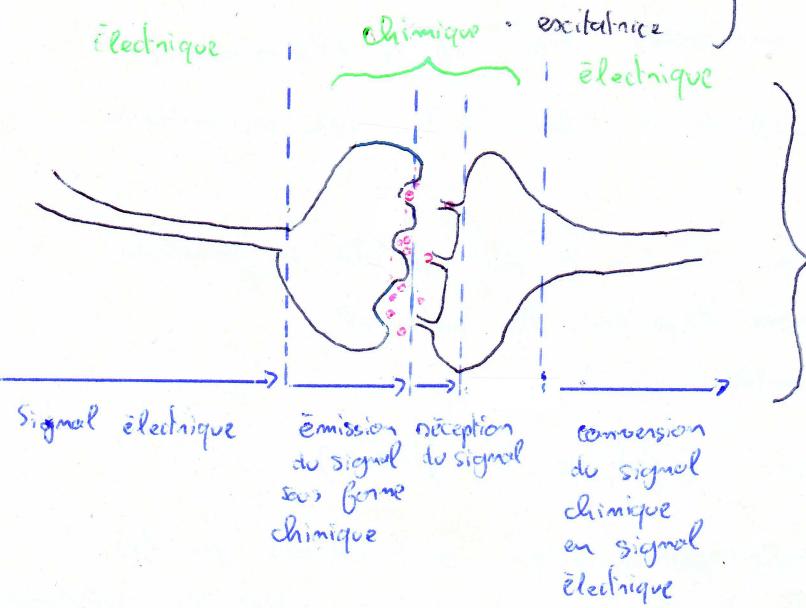
Réseau de neuronesBiologie

- Un neurone est une cellule nerveuse constituée d'un corps cellulaire d'où partent des prolongements plus ou moins ramifiés (les dendrites), voies d'entrée, et un axone, voie de sortie.
- La communication est assurée entre les neurones par des jonctions (les synapses)
- Le corps cellulaire intègre les informations qu'il reçoit de ses voisins, en fait la synthèse, et si la "somme" est suffisamment intense, envoie ce message vers les centres nerveux.

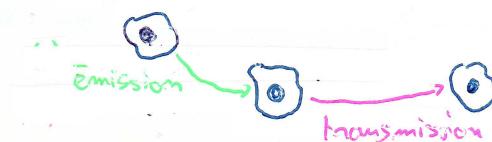


Differents type de synapses :

- chimique
 - électrique
 - inhibitrice
 - excitatrice
- } vers des muscles ou des neurones

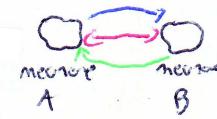


- Les dendrites permettent la réception d'un message chimique
- Les axones permettent l'émission d'un signal chimique

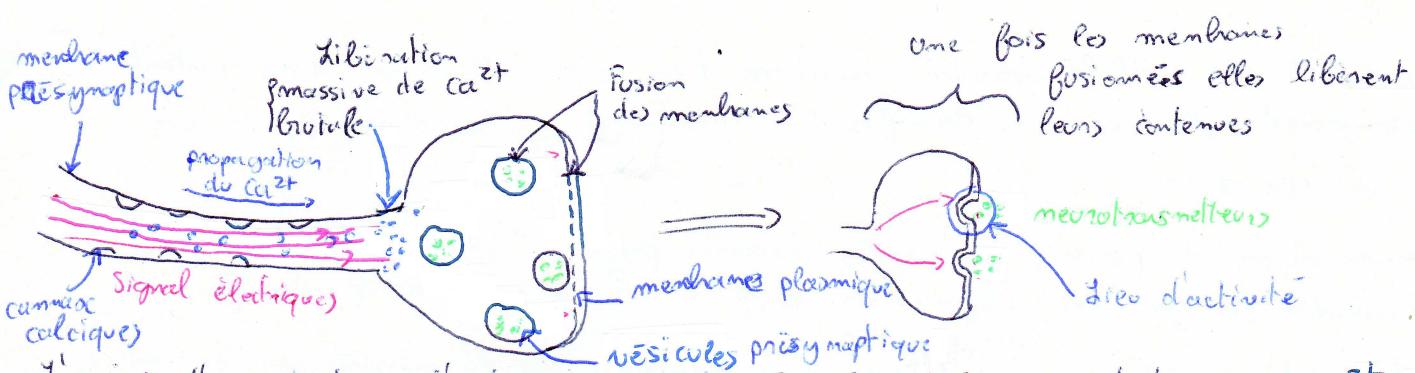


La relation entre neurone est asymétrique :

- (1) simple émission
- (2) simple réception
- (3) émission et réception



Mode de transmission d'un signal:



L'arrivée d'un potentiel d'action augmente brutalement la concentration en Ca^{2+} qui entraîne le déversement des neurotransmetteurs à travers la membrane de synapse localement: (Le signal n'entraîne pas l'ouverture de toute la membrane ! seulement dans endroits où le signal a été localisé)

⇒ Le processus de libération des neurotransmetteurs est nommé exocytose

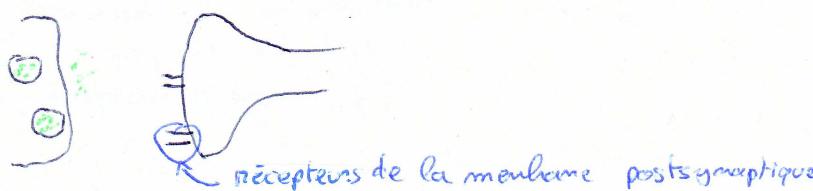
La libération brutale et massive de Ca^{2+} (par l'intermédiaire de canaux calciques voltage dépendants situés sur la membrane présynaptique) entraîne la fusion de la membrane du vésicule présynaptique et de la membrane plasmique, au point de contact, ce qui entraîne la libération du contenu du vésicule présynaptique en dehors du synapse.

Remarque: L'entrée du Ca^{2+} dans les terminaisons présynaptiques est liée à la forte différence de concentration entre les milieux extracellulaire (forte concentration) et intracellulaire (faible concentration) qui source d'une importante force électromotrice.

Mécanismes d'arrêt de l'exocytose: (arrêt de la libération de neurotransmetteur dans la fente synaptique):

- ouverture de canaux potassium, qui ramène le potentiel de la membrane à sa valeur d'origine (⇒ inhibant les canaux dépendants du potentiel)
- pompes calciques (situées sur la mitochondrie)
- disposition des vésicules synaptiques (fatigue synaptique)

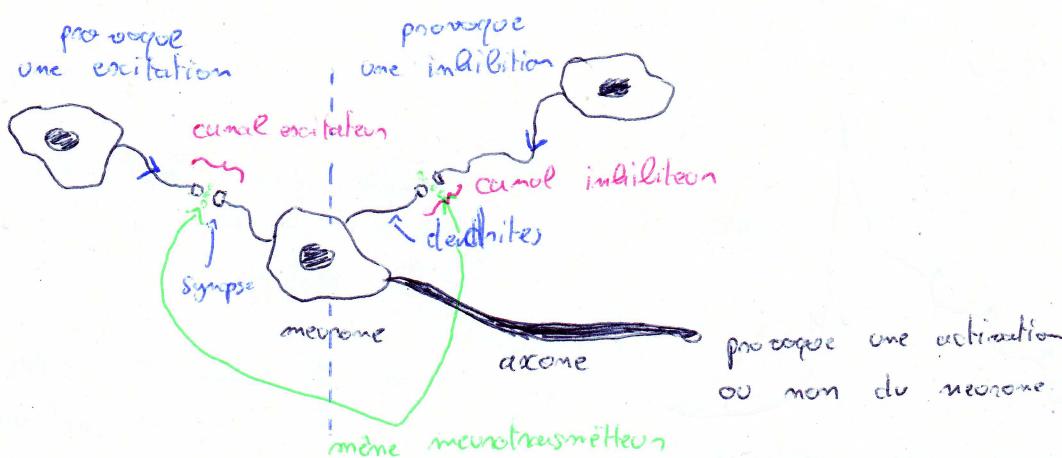
Réception du signal: Lorsque les récepteurs postsynaptiques sont activés par des neurotransmetteurs, des canaux s'ouvrent pour transmettre les neurotransmetteurs.



Des neurotransmetteurs modifient le potentiel de la membrane postsynaptique dans :

- le sens d'un accroissement de l'excitabilité (potentiels postsynaptiques excitateurs) PPSE
- le sens d'une diminution de l'excitabilité (potentiels postsynaptiques inhibiteurs) PPSI

↳ Un même neurotransmetteur peut provoquer soit une excitation soit une inhibition matrice du canal ionique affecté à la liaison du neurotransmetteur.



→ Si la membrane dépasse le seuil critique de dépolarisation, un potentiel d'action est initié.

- Le PPSE favorise le potentiel d'action (PA)
- Le PPSI empêche le déclenchement du PA

→ Un neurone est "couvert" de synapses excitatrices et inhibitrices.

Il se produit alors une sommation à la fois temporelle et spatiale des entrées synaptiques pour effectuer ou non le déclenchement d'un PA
(Le seuil correspond au voltage auquel un nombre suffisant de canaux sodiums sont activés)

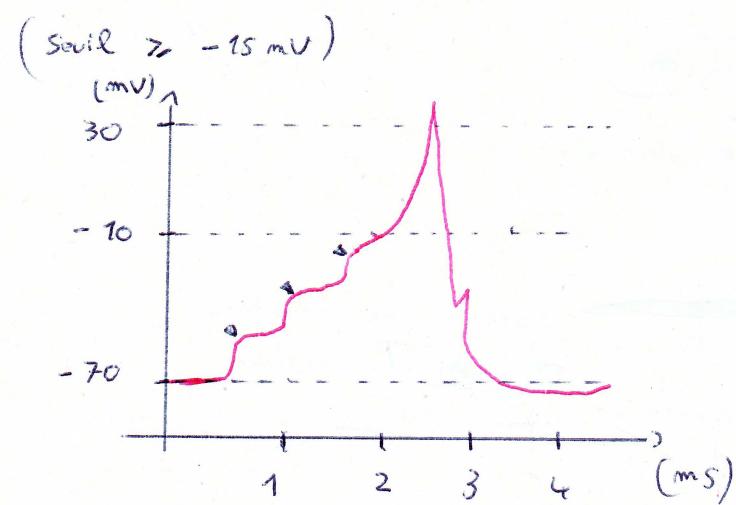
Action des substances psychotropes

- Se lier aux récepteurs sans entraîner d'effet (les récepteurs ne sont plus disponibles). Ou simuler l'effet des neurotransmetteurs.
- empêcher ou limiter la sortie ou la destruction de neurotransmetteurs (normalement évacués ou détruit après un certain temps) ce qui active davantage et plus longtemps le récepteur.

↳ L'alcool passe dans le sang qui se diffuse alors rapidement dans tous les organes (c'est la concentration qui augmente ou non avec le temps)
⇒ On peut négliger les effets de diffusion dans notre modèle

Seuil d'activation

- Sommation spatiale : somme de tous les "signaux" reçus par les dendrites
- Sommation temporelle : si beaucoup de PPSÉ sont rapprochés dans le temps, ils s'ajoutent (accumulation du Ca^{2+} sans être évacués) et peuvent atteindre le seuil de dépolarisation. (sont
- période réfractaire du neurone : si 2 signaux "perçus" espacés de moins d'une milliseconde alors le 2nd me donnera naissance à aucun PPSÉ (il restera silencieux)



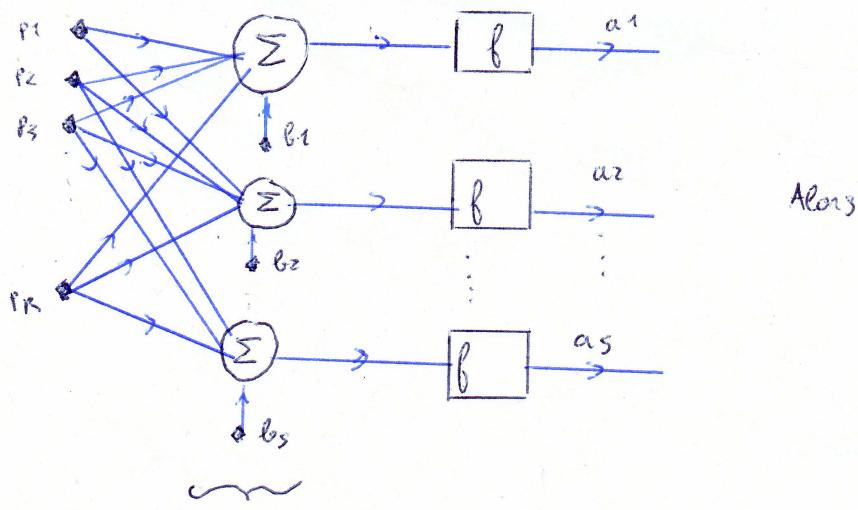
Enregistrement postsynaptique du potentiel membranaire
(► = PPSÉ)

↳ La somme de 3 PPSÉ donne lieu à une activation

Nom de la fonction	Relation d'entrée/sortie	Icône
seuil	$a = 0 \text{ si } n < 0$ $a = 1 \text{ si } n \geq 0$	
seuil symétrique	$a = -1 \text{ si } n < 0$ $a = 1 \text{ si } n \geq 0$	
linéaire	$a = n$	
linéaire saturée	$a = 0 \text{ si } n < 0$ $a = n \text{ si } 0 \leq n \leq 1$ $a = 1 \text{ si } n > 1$	
linéaire saturée symétrique	$a = -1 \text{ si } n < -1$ $a = n \text{ si } -1 \leq n \leq 1$ $a = 1 \text{ si } n > 1$	
linéaire positive	$a = 0 \text{ si } n < 0$ $a = n \text{ si } n \geq 0$	
sigmoïde	$a = \frac{1}{1+\exp^{-n}}$	
tangente hyperbolique	$a = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}}$	
compétitive	$a = 1 \text{ si } n \text{ maximum}$ $a = 0 \text{ autrement}$	

Les fonctions les plus utilisées

Association de 5 neurones en 1 couche



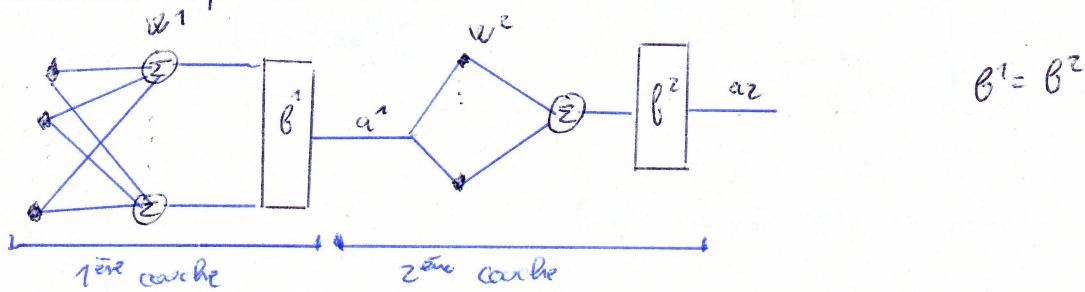
Alors

$$W = \begin{pmatrix} \text{poids de la 1ère couche} \\ \downarrow \\ w_{1,1} & w_{1,2} & \dots & w_{1,R} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ w_{5,1} & w_{5,2} & \dots & w_{5,R} \end{pmatrix}$$

poids de la 2ème couche

Les 5 neurones
d'une même couche
sont tous branchés avec R entrées
(La couche est "totalement connectée")

Association en plusieurs couches



Modèle d'un neurone

(plus qu'approximatif)

- Sommation pondérée des entrées

↳ chaque connexion à un poids (qui est sensé représenté la "qualité" de la connexion synaptique)

↳ poids < 0 (fonction inhibitrice)

↳ poids > 0 (fonction excitatrice)

- temps discret

↳ on suppose les neurones synchrones (c'est à dire que temps t, ils vont calculer simultanément leur somme pondérée et produire une sortie)

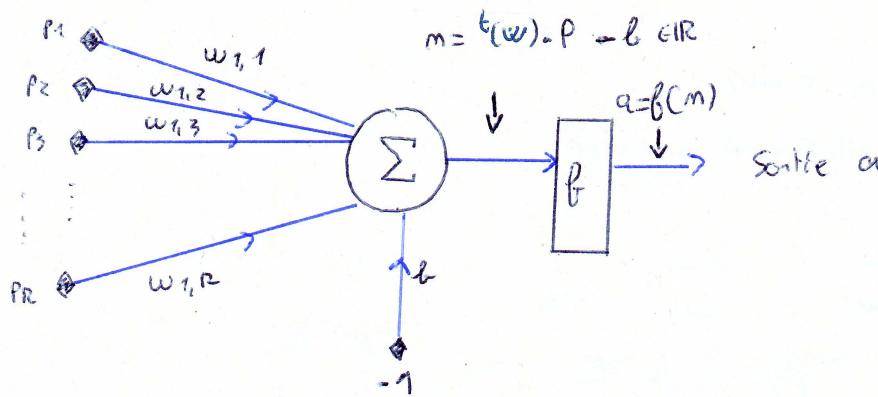
→ dans les réseaux biologique les neurones sont asynchrones

- on peut appeler à une fonction activatrice (représente la manière dont le neurone réactive)

$$P = \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_R \end{pmatrix} \quad W = \begin{pmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} & \dots & w_{1,R} \\ w_{2,1} & w_{2,2} & \dots & w_{2,R} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{R,1} & w_{R,2} & \dots & w_{R,R} \end{pmatrix}$$

valeurs des entrées
(dendrites)

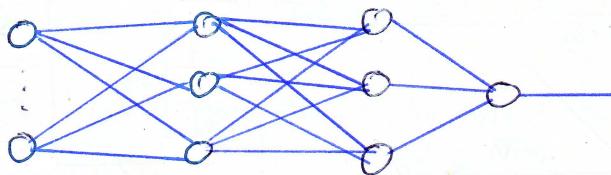
poids des
connexions



b = biais du neurone
(facteur correctif tendant à zéro)

2 types de réseau

• Réseau statique :



- Réseau dynamique : contient des rebouclages partiels ou totaux.
(ou récurrent : il existe au moins un cycle dans la structure)

Modélisation d'un réseau biologique :

- pas de temps numérique = de l'ordre de la période néfractaire
- système récurrent (avec boucle)
- prise en compte du potentiel de l'étape précédent à l'étape suivante

Modèle binnaire

$$V_i(t+1) = \underbrace{f_{\text{fd}}(1 - f_{\text{fd}}(t))}_{\text{si le neurone a été déchargé}} V_i(t) + \dots$$

$$f_{\text{fd}}(t) = \begin{cases} 1 & \text{si le neurone a été déchargé} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \text{ à l'étape } t$$

b. variable mémoire du neurone (entre 0,05 et 0,95)

V unitaire

1

0

f_{fd}

décroissance du potentiel unitaire

Modèle progressif

$$V_i(t+1) = \left(1 - f_{\text{td},i}(t+1 - t_i)\right) V_i$$

où t_i = temps t de la simulation où le neurone avait comme potentiel V_i
= $t+1$ si pas encore activé

⇒ Si le neurone activé à l'étape t est de nouveau activé à l'étape $t+1$, son potentiel ne repart pas à 0.
(plus proche du modèle biologique)

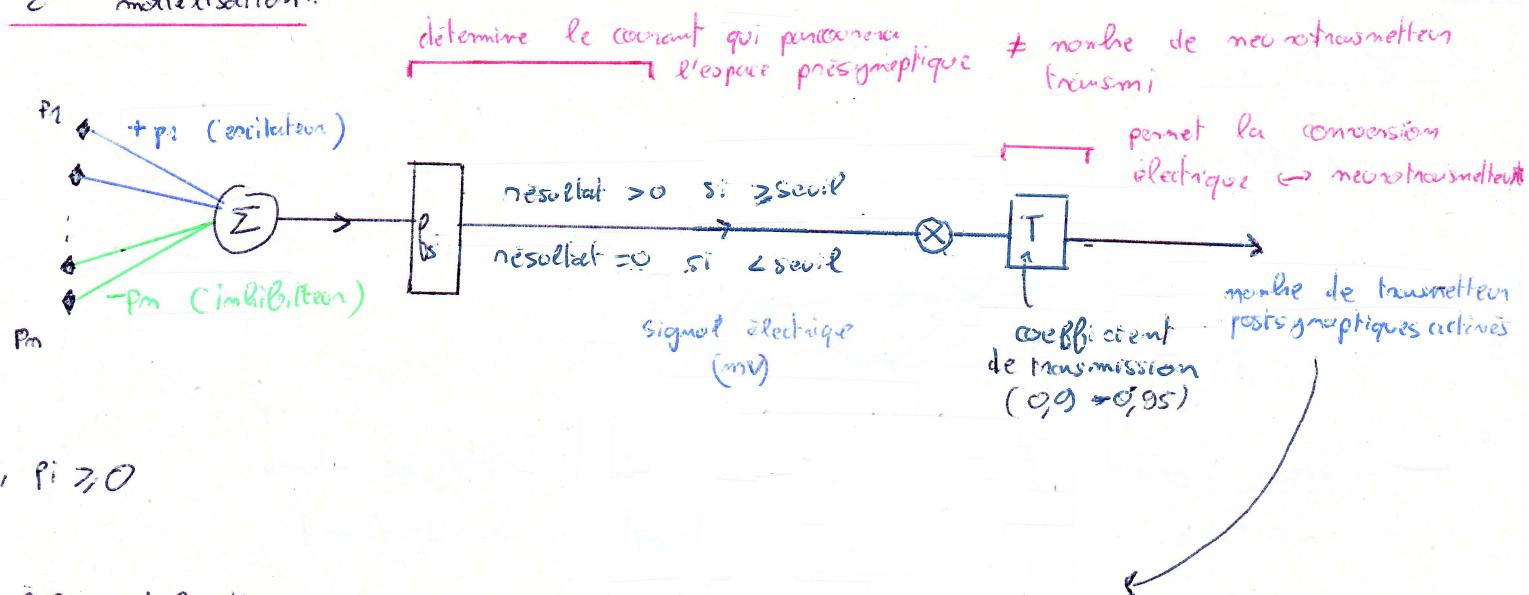
- utilisation d'une fonction d'activation f_S

(plus proche du biologique : sigmoïde)

$$V_i(t+1) = f_S(1 - f_{\text{fd},i}(t)) V_i(t) + w_{i1} z_1(t) + \dots + w_{in} z_n(t) \text{ où } w_{ij} \text{ potentiel d'action provenant de j connecté à i}$$

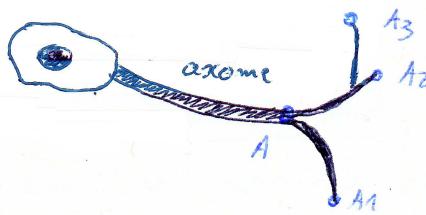
⇒ La simulation doit être synchronisée !! } Problème avec le temps lors de la simulation

2^{ème} modélisation:



$$\forall i, p_i \geq 0$$

3^{ème} modélisation:



On suppose que le potentiel au point A est le même au points A₁, A₂, A₃, ... transmission.

En fait cette hypothèse est fausse car la circulation du courant est assurée par des ions Na⁺, qui vont alors se répartir dans chaque embranchement (donc la valeur du courant va diminuer). De plus, ces ions ne se répartissent pas équitablement dans les embranchements : il vont principalement dans les plus "gras" efficace dans ces connections.

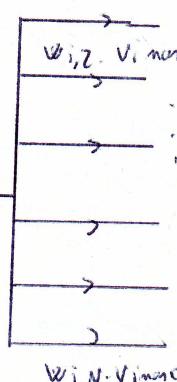
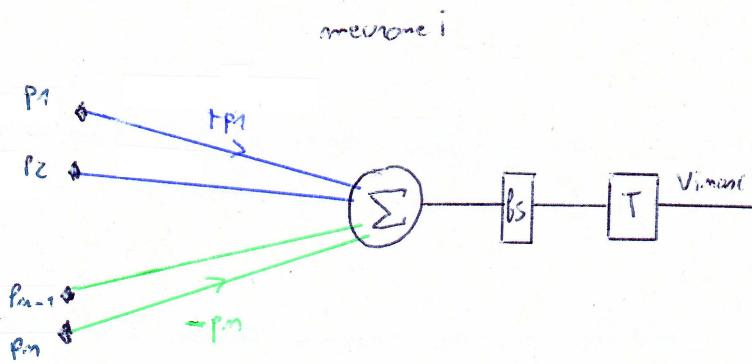
(ex: certaines synapses peuvent être nécéssaires)

$$p_{i,j} = V_{in} w_{i,j}$$

$$\sum_{j=1}^N w_{i,j} = 1$$

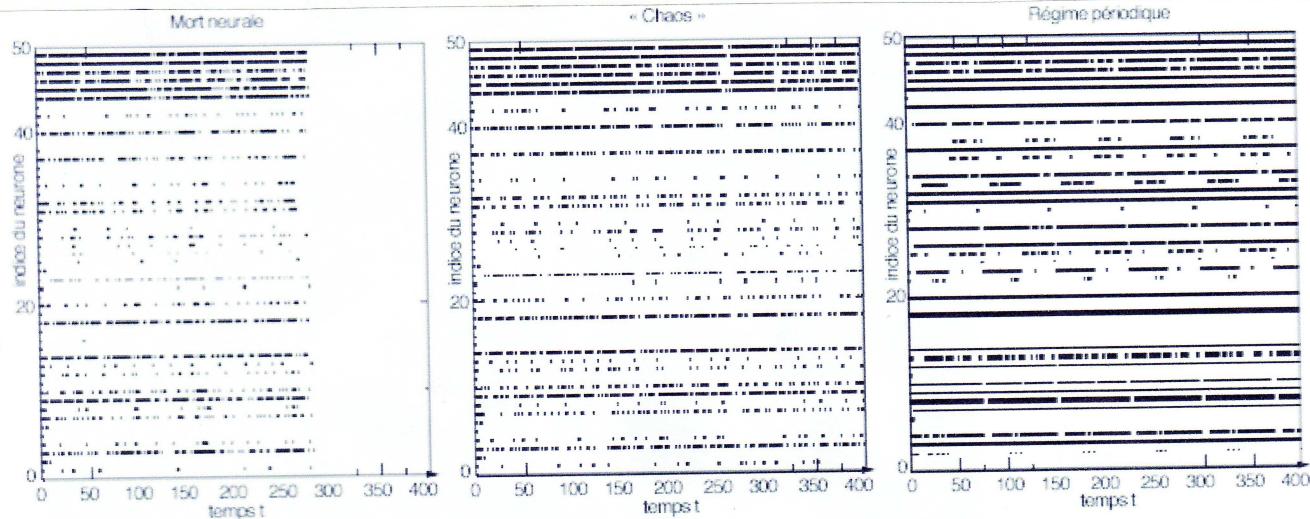
($w_{i,j}$ = "qualité" de la connection)

Avec cette modélisation, on a :



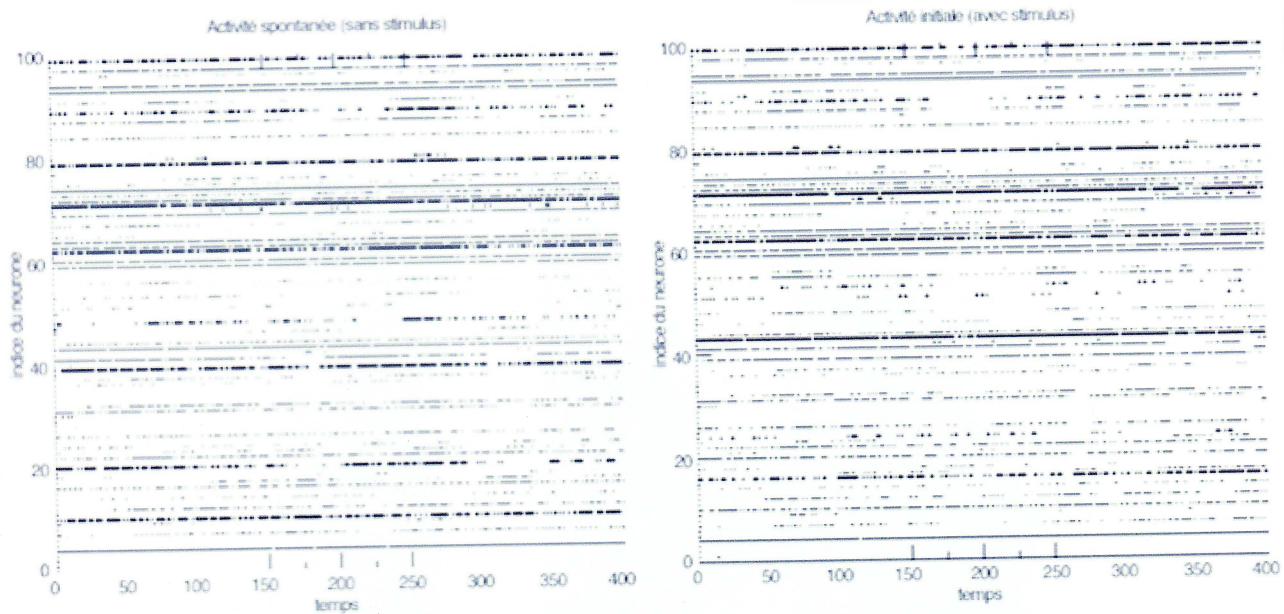
Variables à analyser

↳ Électroencéphalogramme



Sur ces figures on indique en abscisse le temps, en ordonnée 50 neurones numérotés de 1 à 50. Le coefficient k est choisi égal à 0.9. Les synapses sont des variables aléatoires gaussiennes, indépendantes, identiquement distribuées, de moyenne nulle et de variance σ^2 / N avec ici $\sigma = 2.05$ et $N = 50$. Lorsqu'un neurone tire, la variable Z prend la valeur 1, cette impulsion est représentée par un petit carré noir. Trois types de régimes sont ainsi mis en évidence. À gauche, tous les neurones cessent de décharger au bout d'un certain temps, qui peut être plus ou moins long. Même en partant d'une situation où tous les neurones déchargeaient, on aboutit à la « mort » neurale. Au centre, on s'est placé dans une situation où le système est sensible à une petite excitation extérieure. On entretient ainsi une activité permanente, mais apparemment très désordonnée, où on n'arrive pas à détecter une régularité. Enfin, à droite, on observe un régime périodique, où l'activité est beaucoup plus régulière et où on distingue une reproduction périodique des motifs. Ce régime est atteint pour des valeurs combinées des paramètres k et σ qu'on peut déterminer mathématiquement si le nombre de neurones tend vers l'infini.

Prise en compte de la plasticité du cerveau



À gauche, tracé des événements sans stimulus, à droite avec stimulus. On constate qu'après une période d'apprentissage, le tracé devient beaucoup moins complexe.

Étude de l'activité cérébrale:

À tout instant t de la simulation on somme le potentiel d'action (le potentiel qui dépasse ou non le seuil d'action) de tout les neurones (même au repos un neurone a un potentiel)

~ IRM

