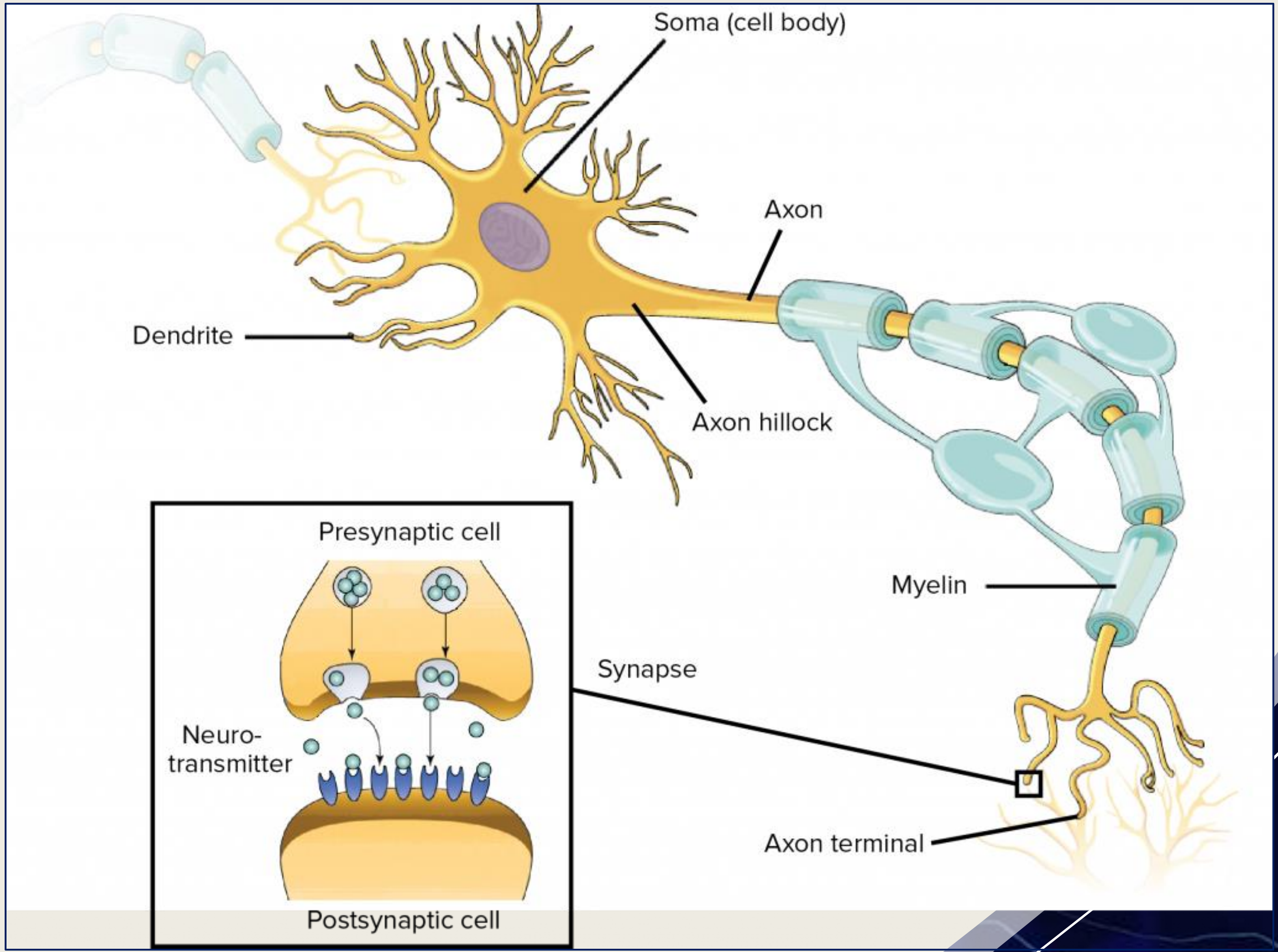
Le modèle de Eugene M.Izhikevich

Projet tutoré Master
MMA 2022-2023

Plan

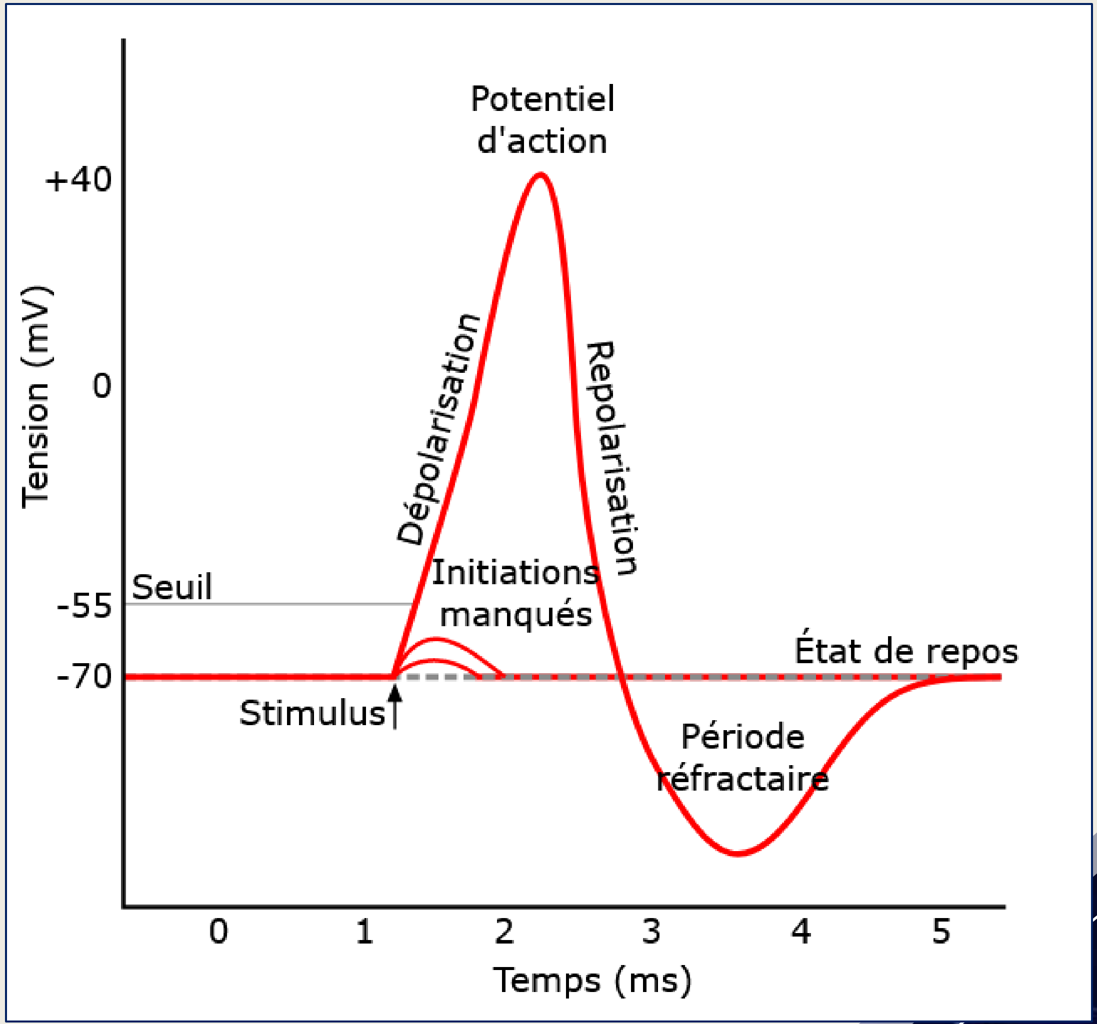
- Biologie du neurone
- Le modèle de Hodgkin-Huxley
- Le modèle d'Izhikevich
- Conclusion et ouverture

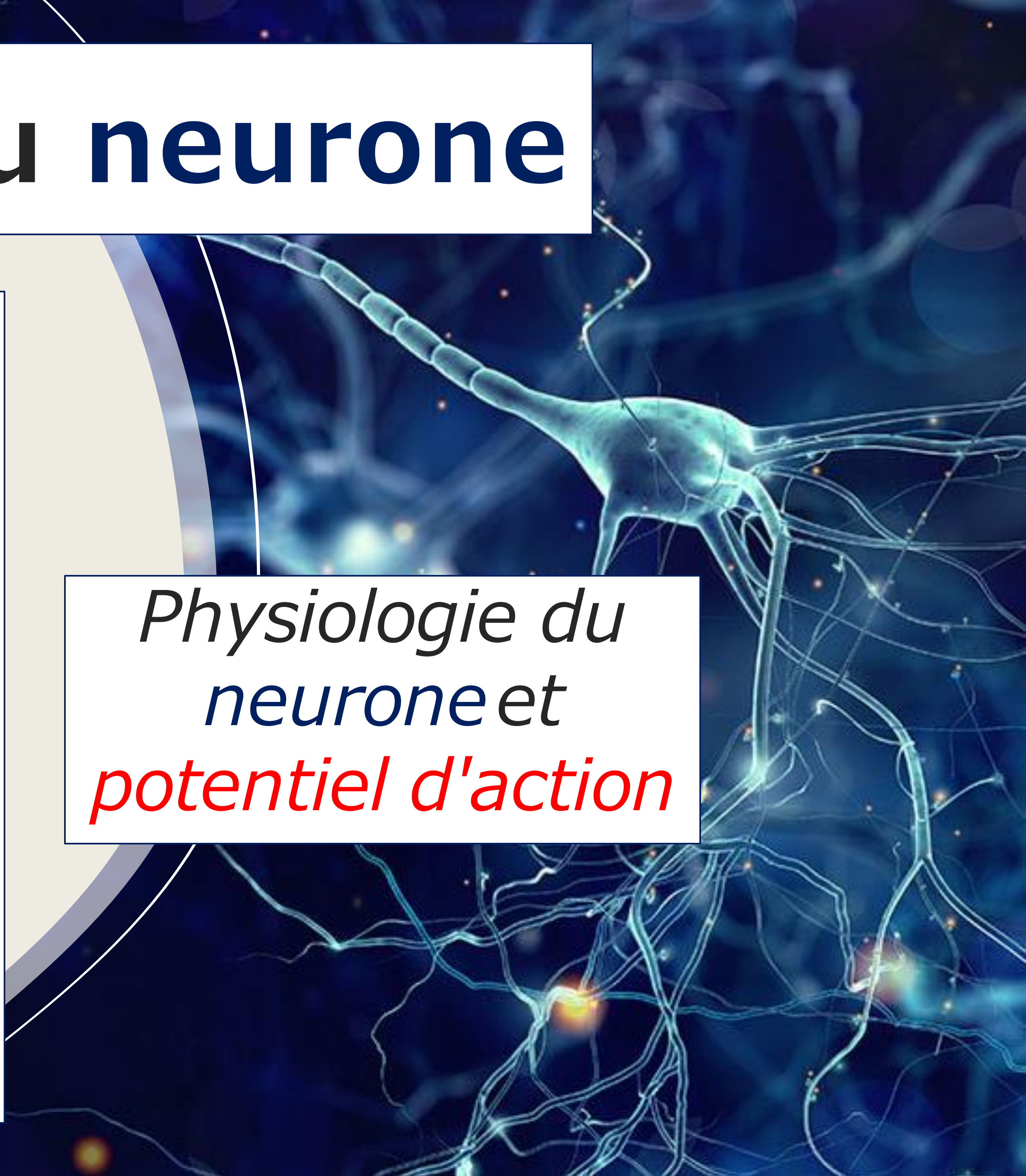
Biologie du **neurone**



Anatomie du neurone

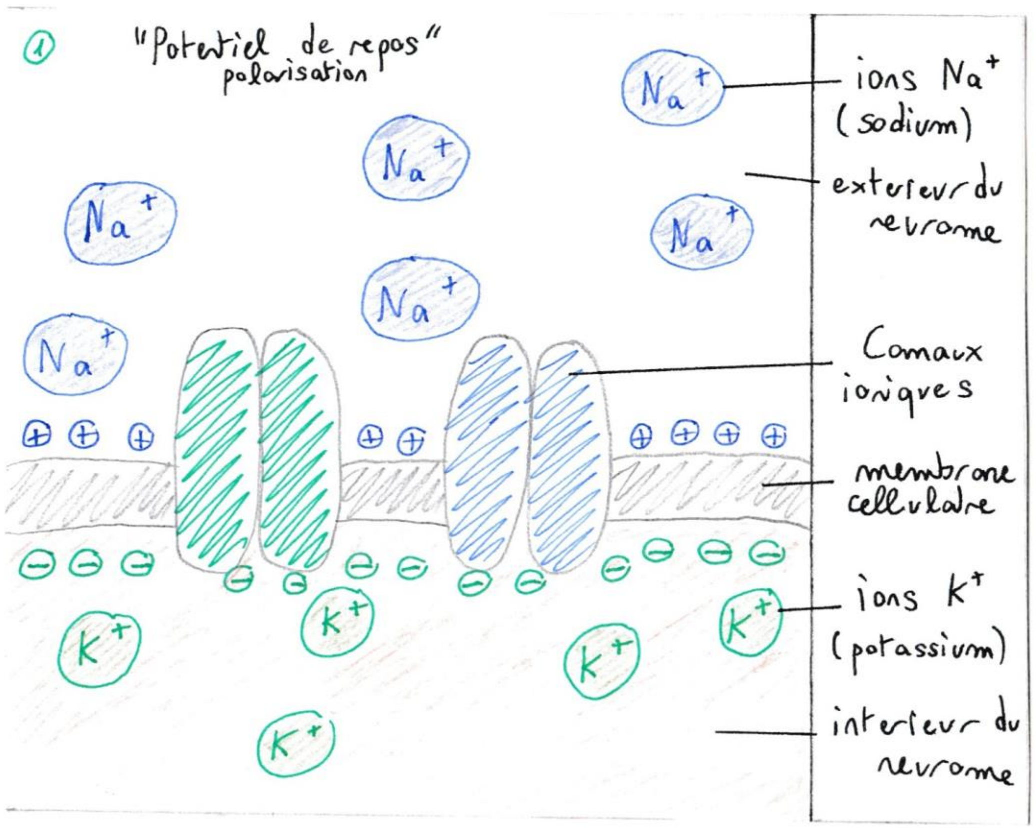
Biologie du **neurone**





Physiologie du neurone et potentiel d'action

Biologie du neurone



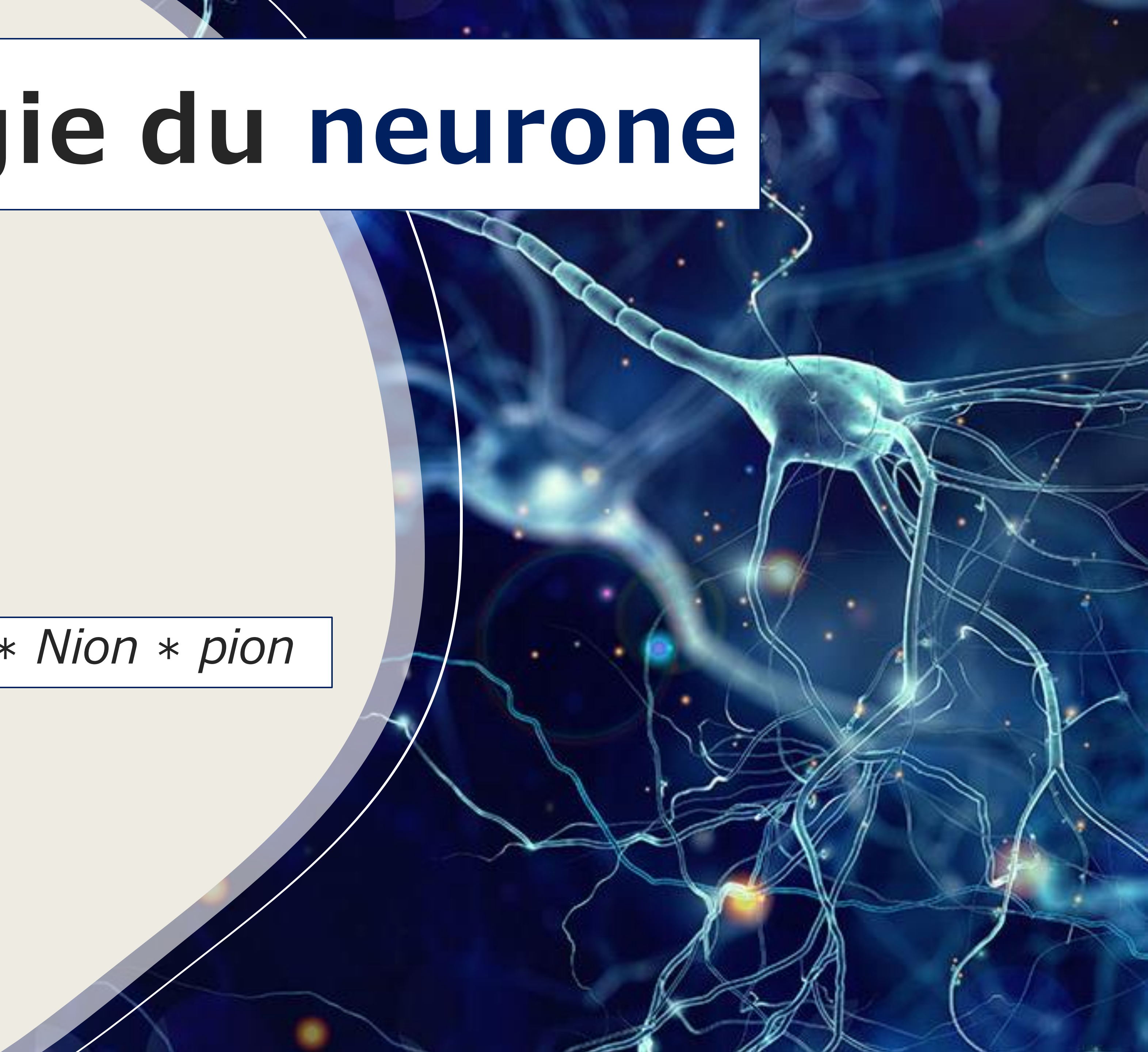
Canaux ioniques et pompes ioniques

Biologie du neurone

Conductance ionique membranaire

$$gion = \gamma ion * Nion * pion$$

$$1S = 1/\Omega$$



Le modèle de Hodgkin-Huxley

Le Modèle de Hodgkin-Huxley

Le modèle de Hodgkin–Huxley est le suivant :

$$\begin{cases} C * V' = & -G_L(V - V_L) - G_{Na}m^3h(V - E_{Na}) - G_k n^4(V - E_k) + I_e \\ m' = & \alpha_m(V)(1-m) - \beta_m(V)(m) \\ n' = & \alpha_n(V)(1-n) - \beta_n(V)(n) \\ h' = & \alpha_h(V)(1-h) - \beta_h(V)(h) \end{cases} \tag{1}$$

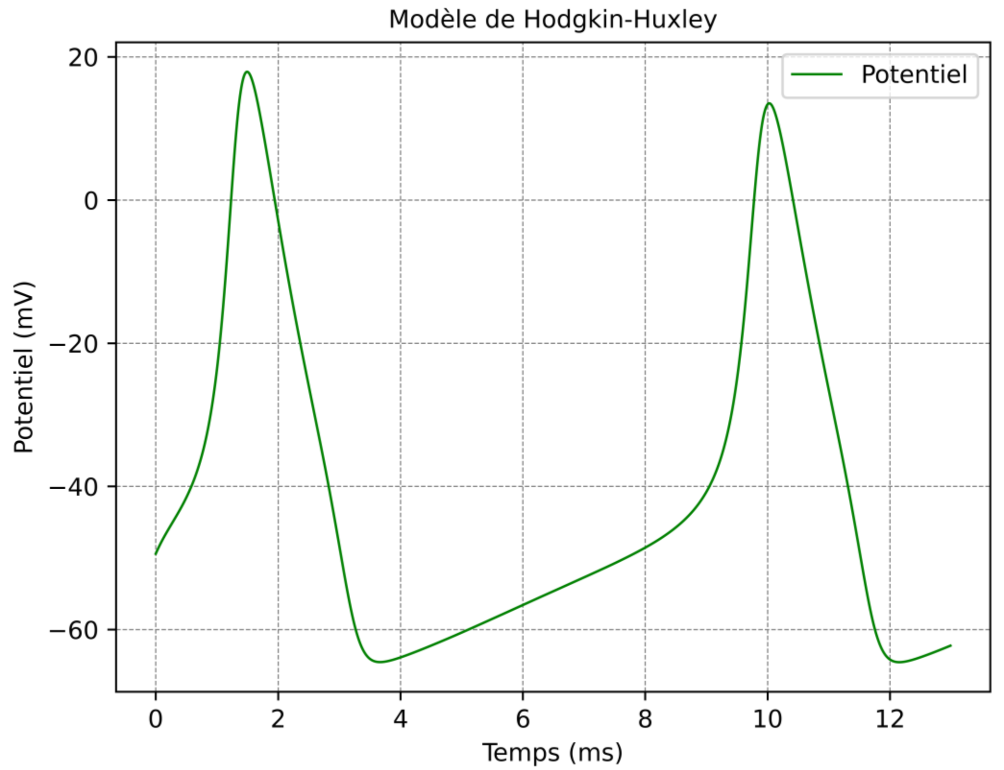
avec les constantes de vitesses pour les canaux ioniques $\alpha(V)$ et $\beta(V)$ définies comme suit :

$$\alpha_m(V) = \frac{0.1(V+35)}{1-e^{-0.1(V+35)}},\ \beta_m(V) = 4e^{-0.0556(V+60)}$$

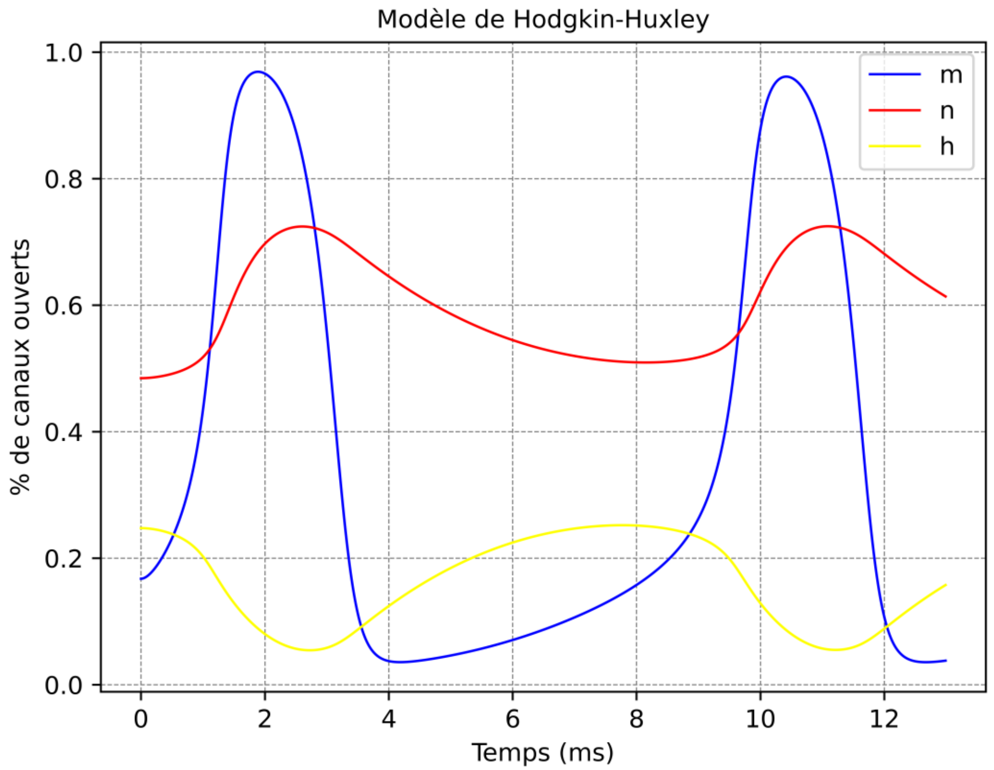
$$\alpha_n(V) = \frac{0.01(V+50)}{1-e^{-0.1(V+50)}},\ \beta_m(V) = 0.125e^{-0.0125(V+60)}$$

$$\alpha_h(V) = 0.07e^{-0.05(V+60)},\ \beta_h(V) = \frac{1}{1+e^{-0.1(V+30)}}$$

Le Modèle de Hodgkin-Huxley

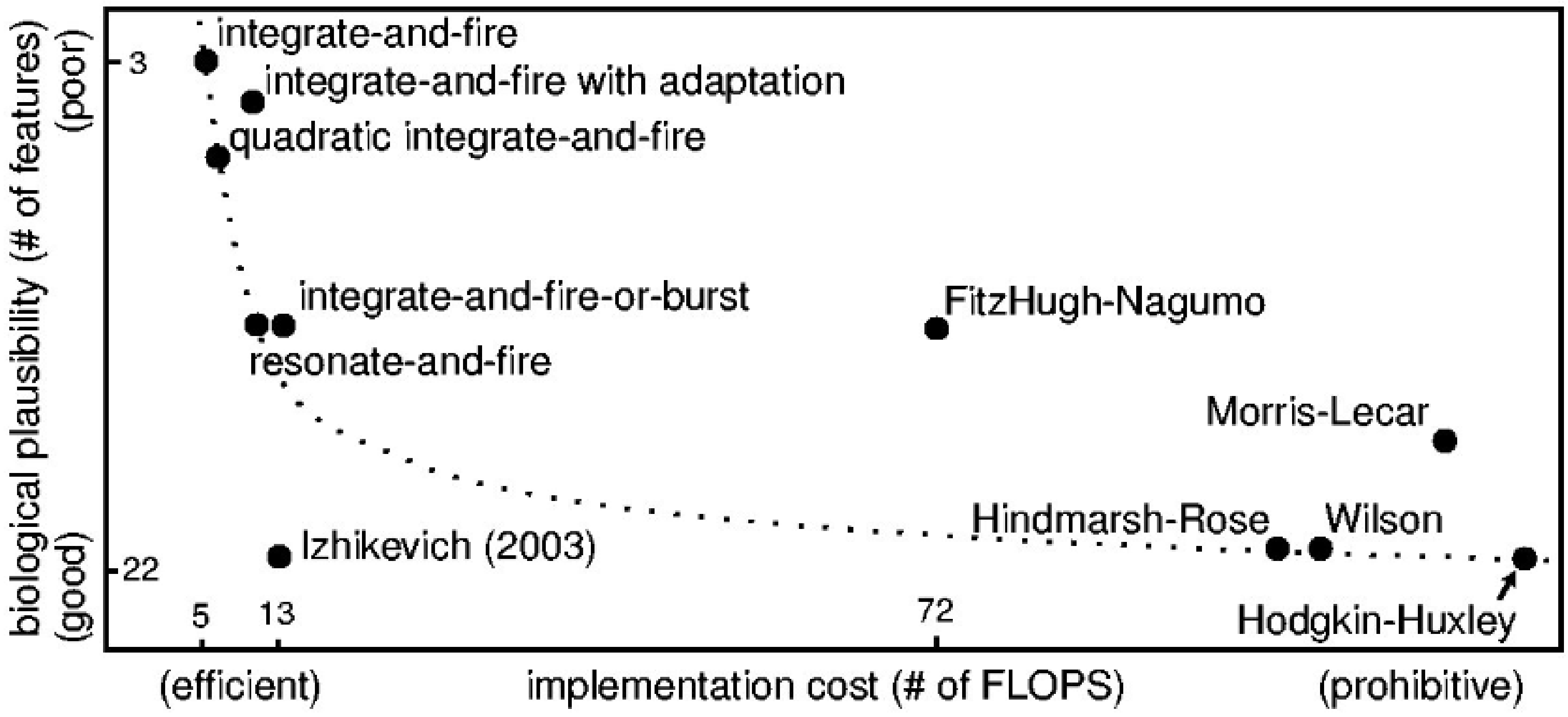


Variation du potentiel en fonction du temps



Taux d'ouverture des canaux en fonction du temps

Le Modèle de Hodgkin-Huxley




Le modèle de
Eugene
M.Izhikevich

Le Modèle d'Izhikevich

Le modèle d'Izhikevich est le suivant :

$$\begin{cases} v' = & 0.04v^2 + 5v + 140 - u + I \\ u' = & a(bv - u) \end{cases} \tag{2}$$

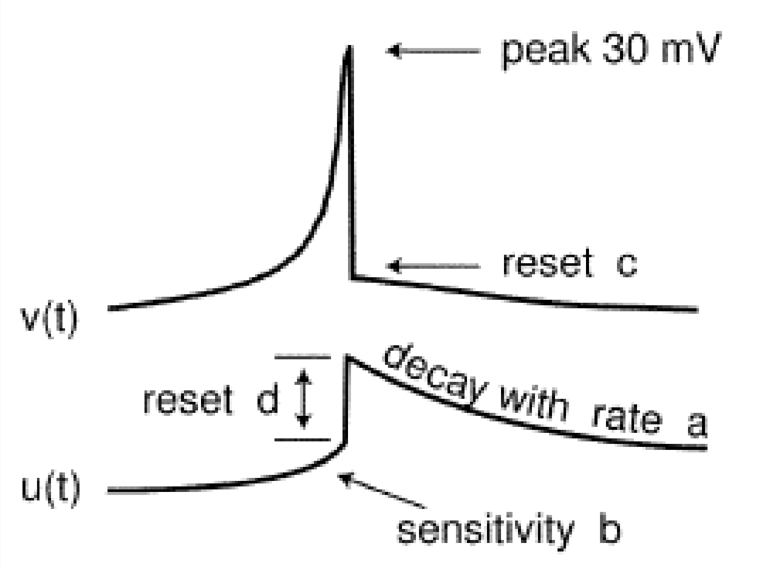
avec la condition auxiliaire qui permet de créer artificiellement des potentiels d'actions réguliers :

si $v \geq 30$ mV, alors :

$$\begin{cases} v = & c \\ u = & u + d \end{cases} \tag{3}$$

Système d'équations

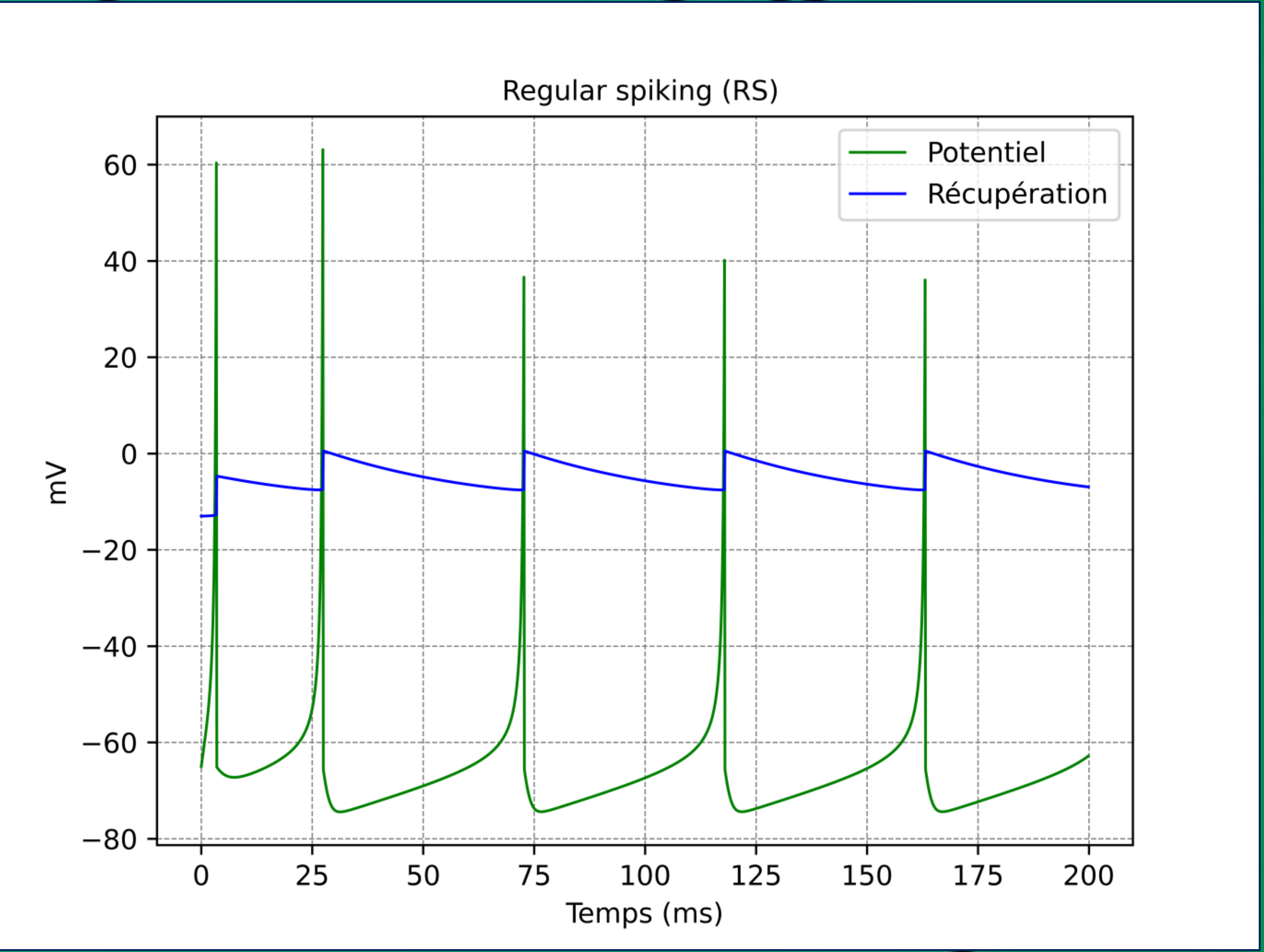
Paramètres du modèle



Le Modèle d'Izhikevich

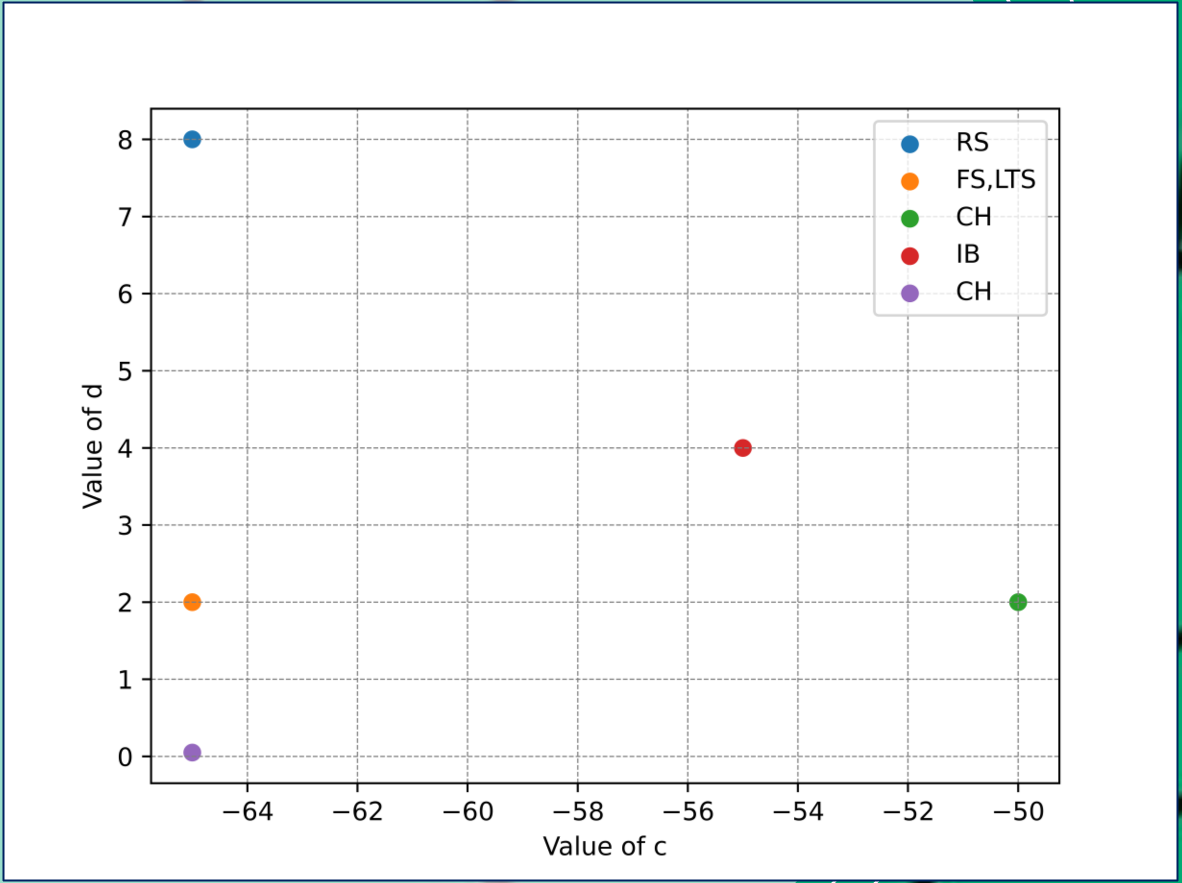
Dans ce cas là:

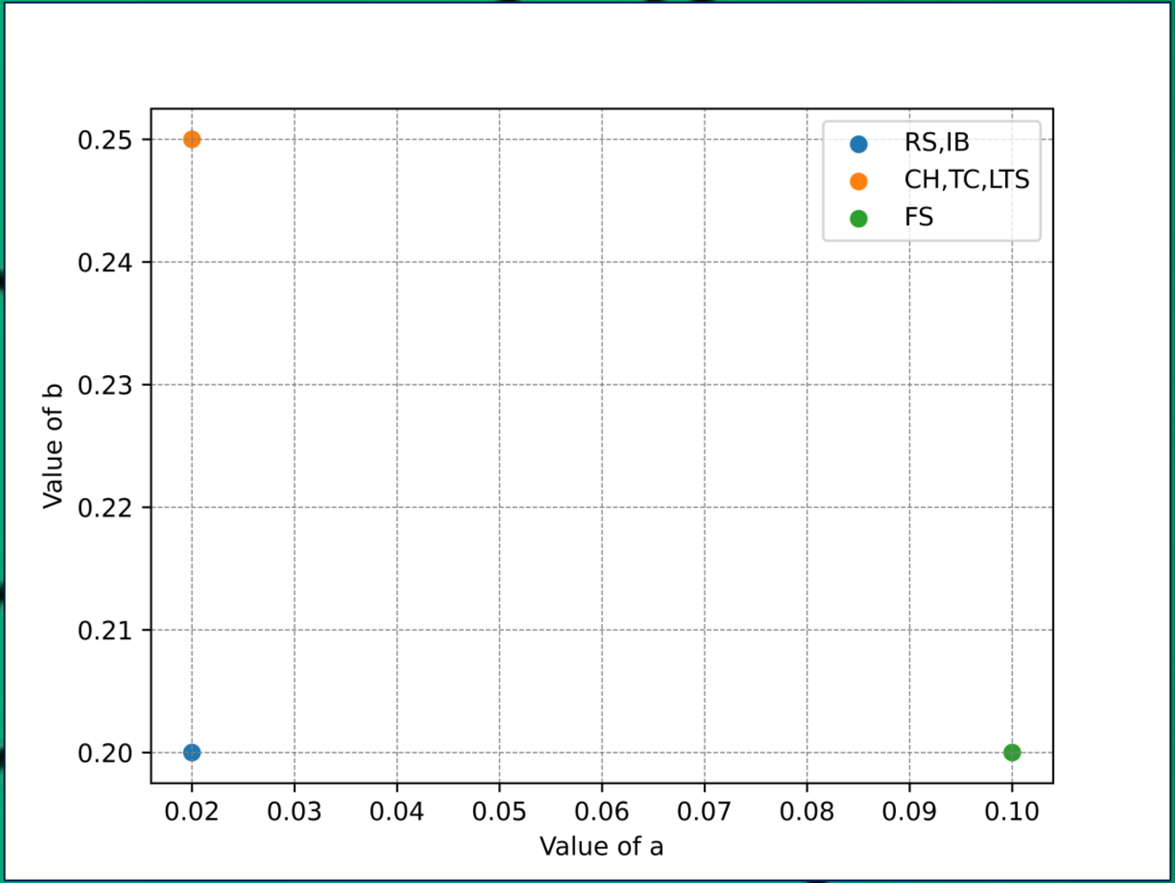
a = 0.02, b = 0.2, d = 8,
c = −65, I = 10



Potentiel en fonction du temps

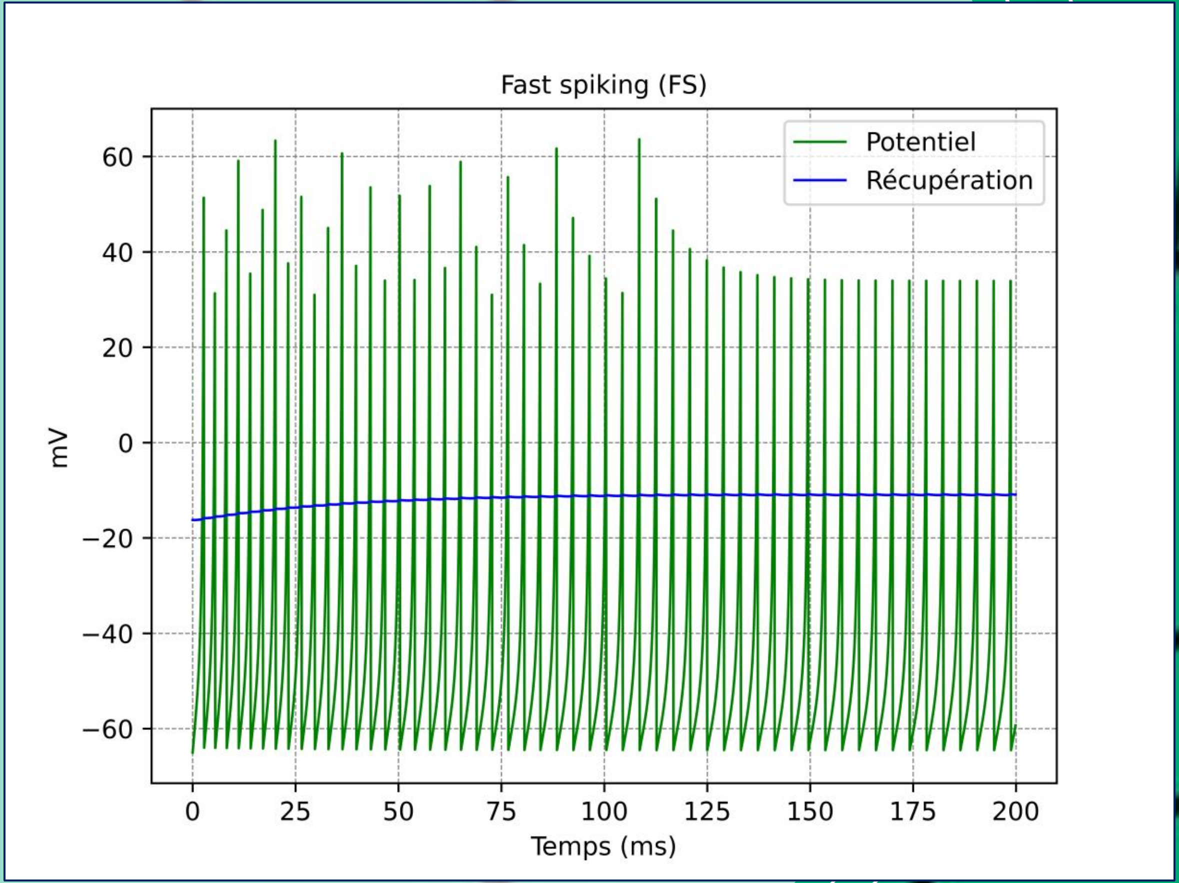
Le Modèle d'Izhikevich

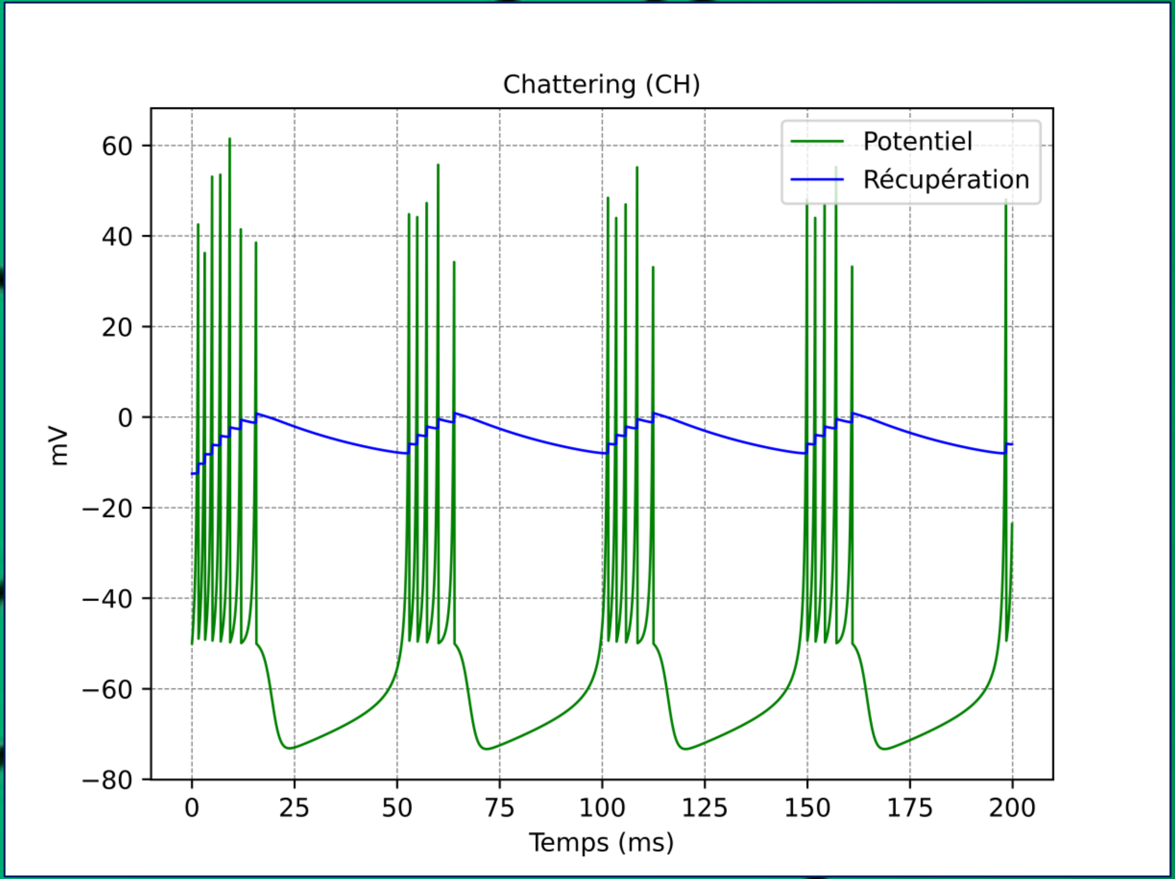




Les valeurs de paramètres influent sur la nature des pics de potentiels obtenus

Le Modèle d'Izhikevich





Les valeurs de paramètres influent sur la nature des pics de potentiels obtenus

Le Modèle d'Izhikevich

$$\begin{cases} v' = & 0.04v^2 + 5v + 140 - u + I \\ u' = & 0.02(bv - u) \end{cases}$$

On fixe: a = 0.02, c = −65mV et d = 8

$$v_1 = \frac{b-5-\sqrt{b^2-10b+2.6-0.16I}}{0.08} \text{ et } v_2 = \frac{b-5+\sqrt{b^2-10b+2.6-0.16I}}{0.08}$$

Deux équilibres :

$$(\bar{u_1}, \bar{v_1}) = (bv_1, v_1)$$

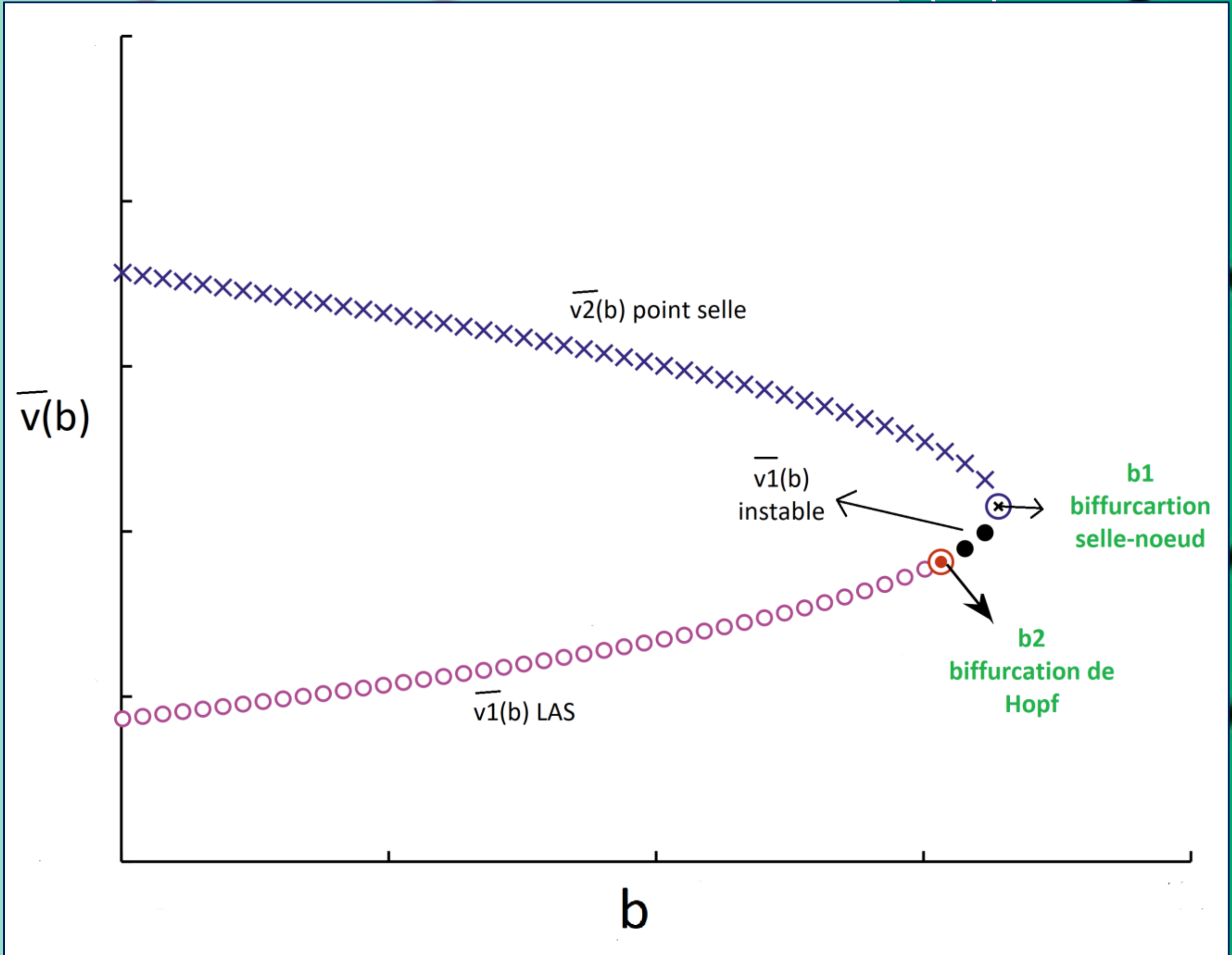
$$(\bar{u_2}, \bar{v_2}) = (bv_2, v_2)$$

Sous la condition d'existence:

$$b \in [0, b_1[$$

$$b_1 = \frac{10-\sqrt{89.6+0.64I}}{2}$$

Le Modèle d'Izhikevich



$(\bar{u_1}, \bar{v_1}) = (bv_1, v_1)$ et $(\bar{u_2}, \bar{v_2}) = (bv_2, v_2)$

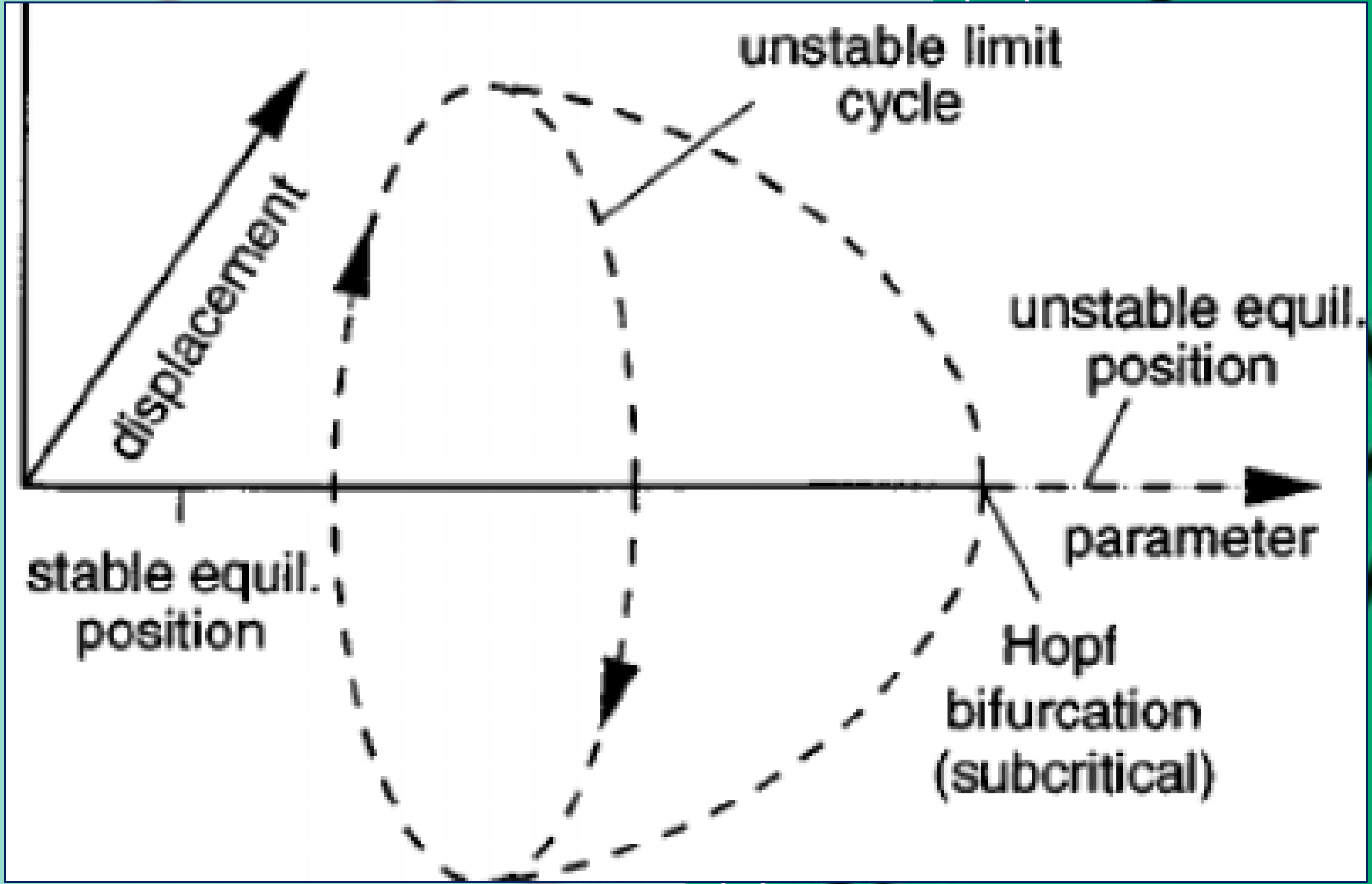
Se rejoignent en b1 avant de disparaître (condition d'existence) --> bifurcation selle noeud en b1.

Avant la bifurcation selle-noeud en b1:

$(\bar{u_1}, \bar{v_1}) = (bv_1, v_1)$ *Est LAS avant b2 puis instable après (bifurcation de Hopf)*

$(\bar{u_2}, \bar{v_2}) = (bv_2, v_2)$ *Est tout le temps une selle*

Le Modèle d'Izhikevich



Bifurcation de Hopf en b2 (sous-critique)

$$(\bar{u_1}, \bar{v_1}) = (bv_1, v_1)$$

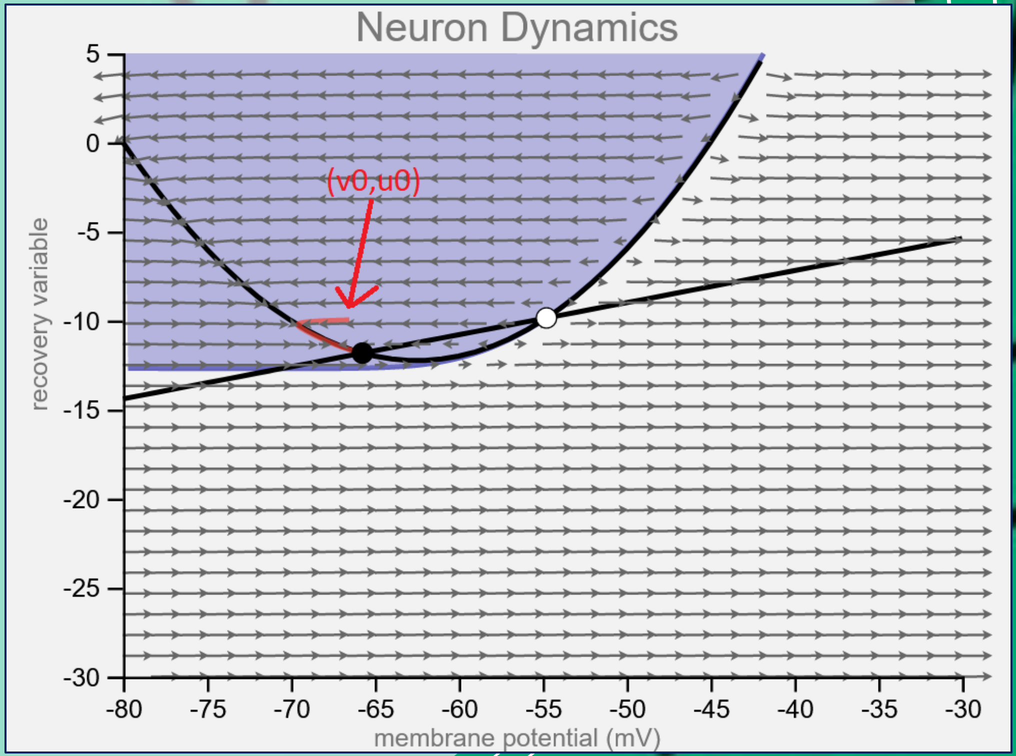
Est LAS avec cycle limite instable avant b2 puis instable après

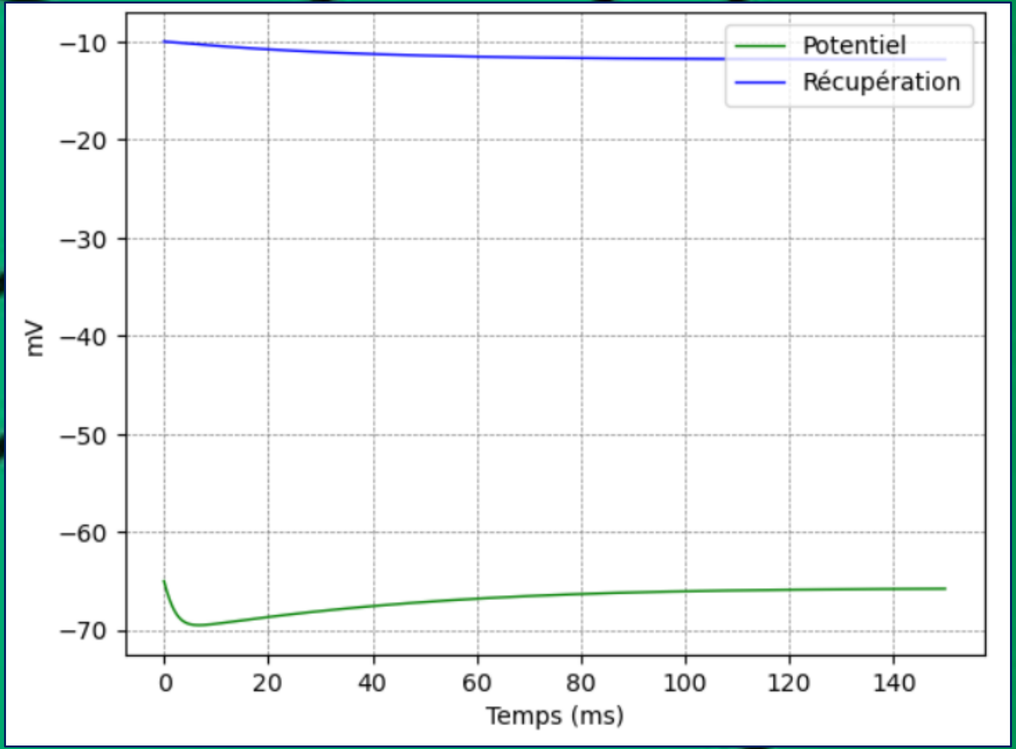
Le Modèle d'Izhikevich

On fixe ici encore: c =−65mV, d = 8, a = 0.02. Et on posera I = 4

Avant la bifurcation de Hopf

(v0,u0) dans le bassin d'attraction



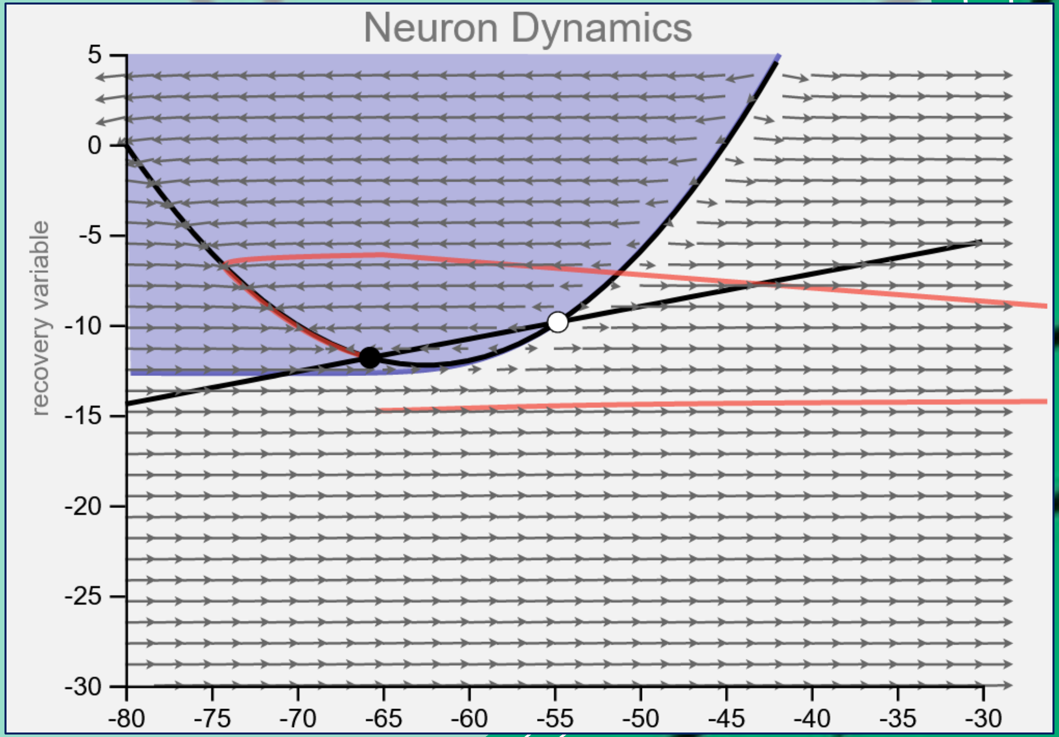


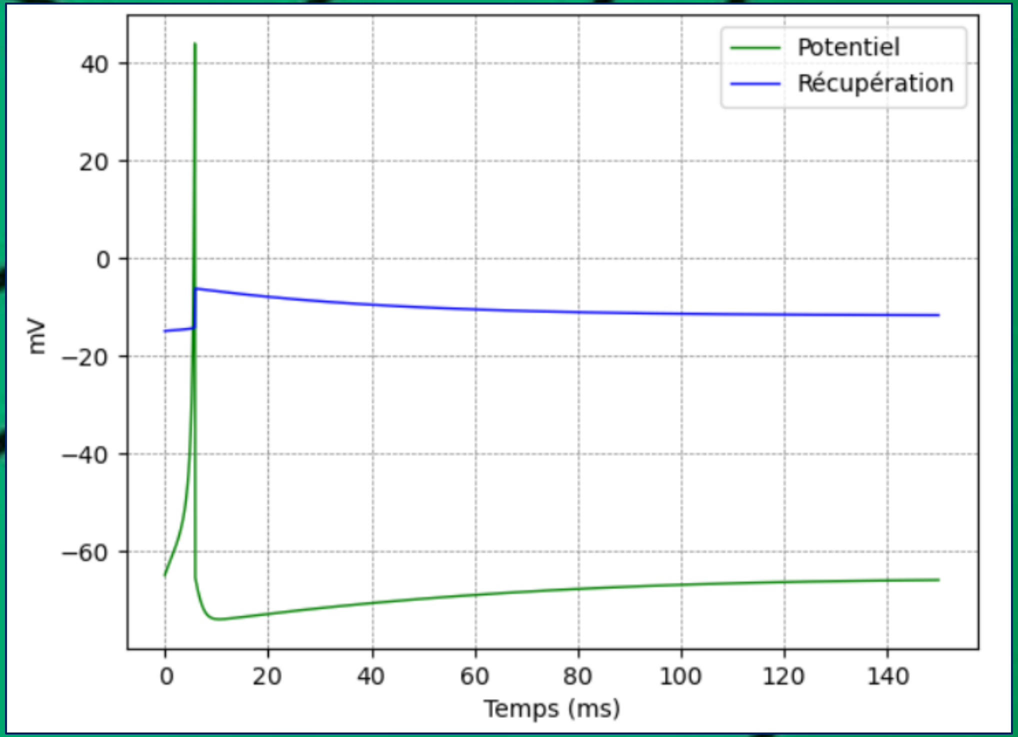
Le Modèle d'Izhikevich

On fixe ici encore: $c = -65mV$, $d = 8$, $a = 0.02$. Et on posera $I = 4$

Avant la bifurcation de Hopf

(v0,u0) en dehors du bassin d'attraction

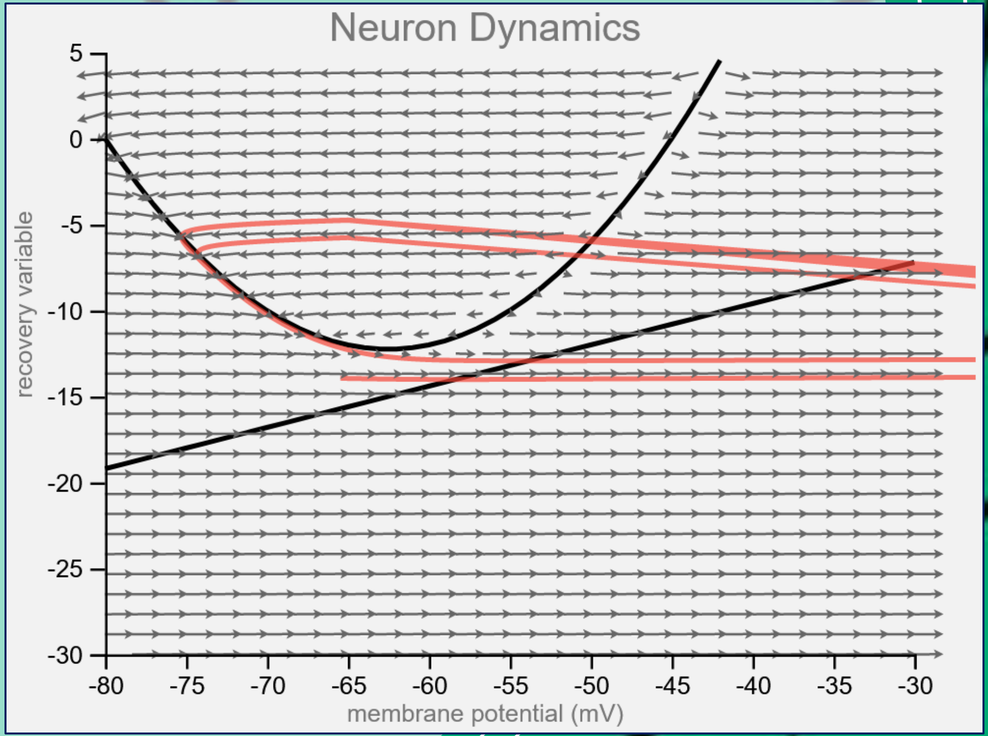


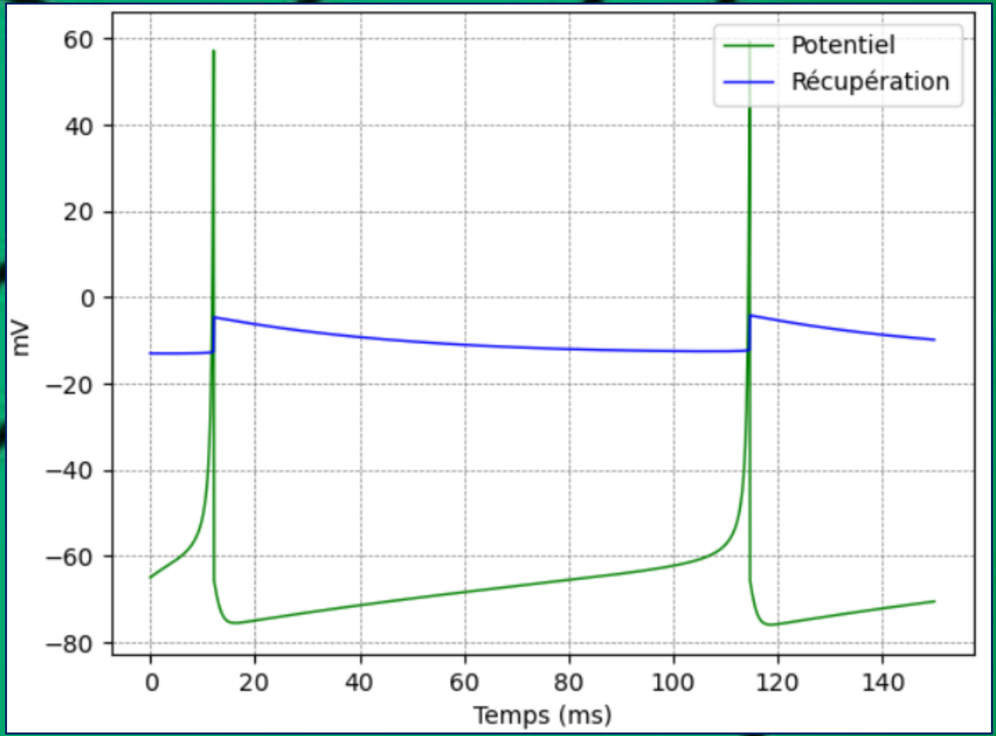


Le Modèle d'Izhikevich

On fixe ici encore: c =−65mV, d = 8, a = 0.02. Et on posera I = 4

Après la bifurcation selle noeud





Conclusion