

Détermination de la nature d'un sous-sol par mesure de la résistivité électrique

Quelle méthode physique permet de connaître la nature d'un sous-sol ?



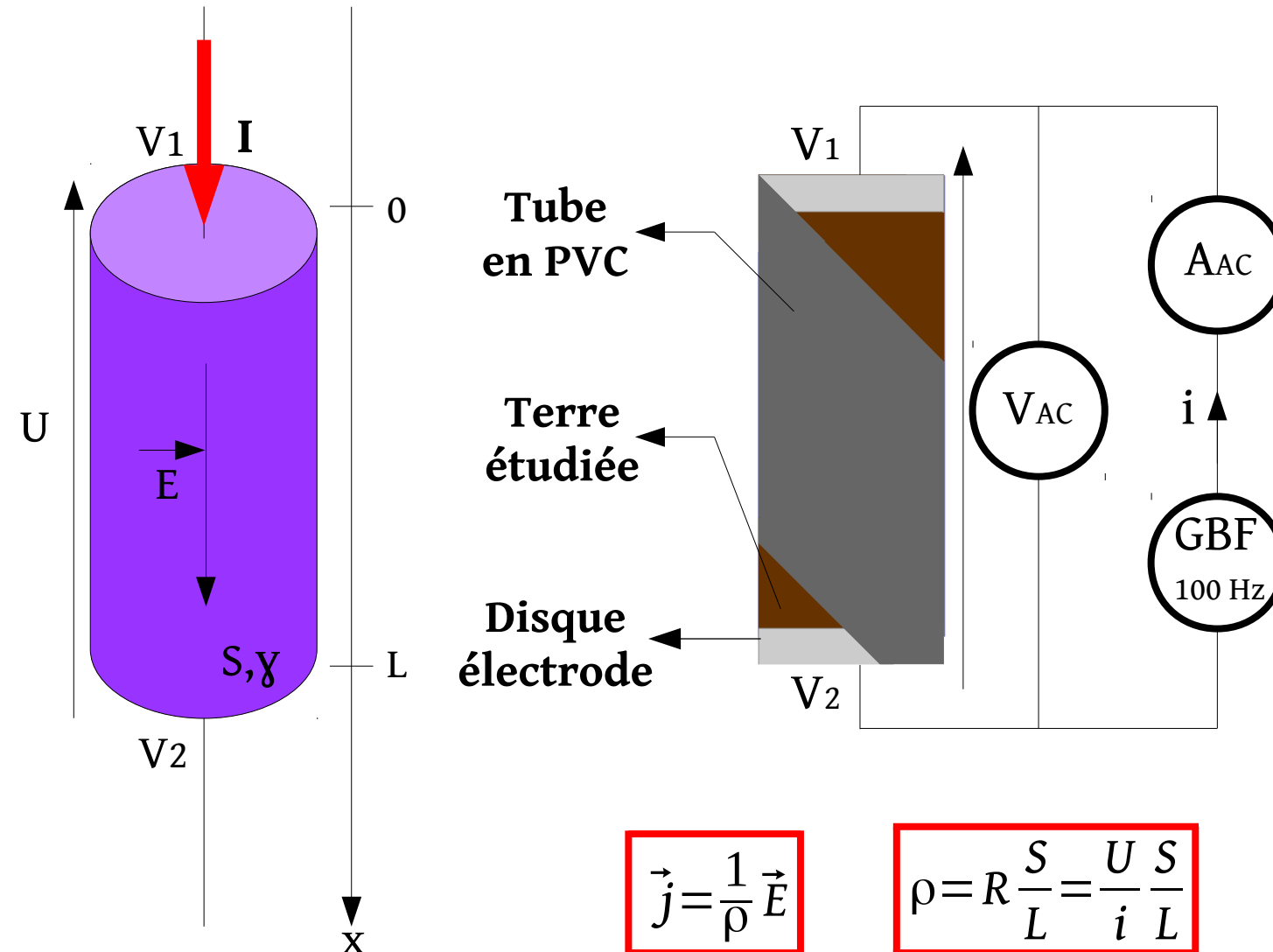
Détermination de la nature d'un sous-sol par mesure de la résistivité électrique

Quelle méthode physique permet de connaître la nature d'un sous-sol ?

- 1) Introduction
- 2) Méthode électrique directe
 - a) Principe physique
 - b) Influence des paramètres
 - c) Détermination de M
 - d) Mesures
- 3) Méthode par suivi de l'infiltration de l'eau
 - a) Principe physique
 - b) Mesure de K
 - c) Expériences
- 4) Conclusion

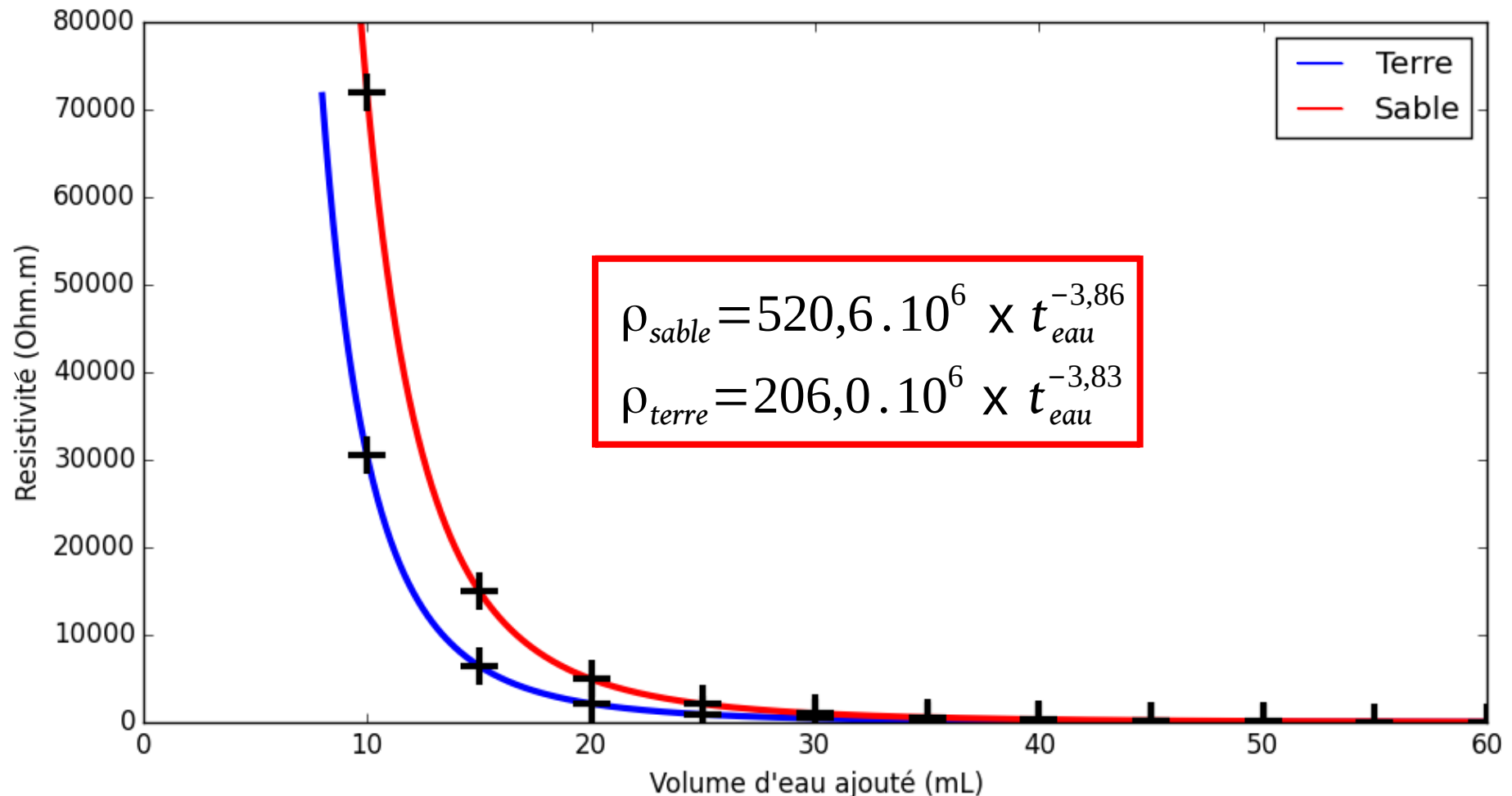


Influence des paramètres



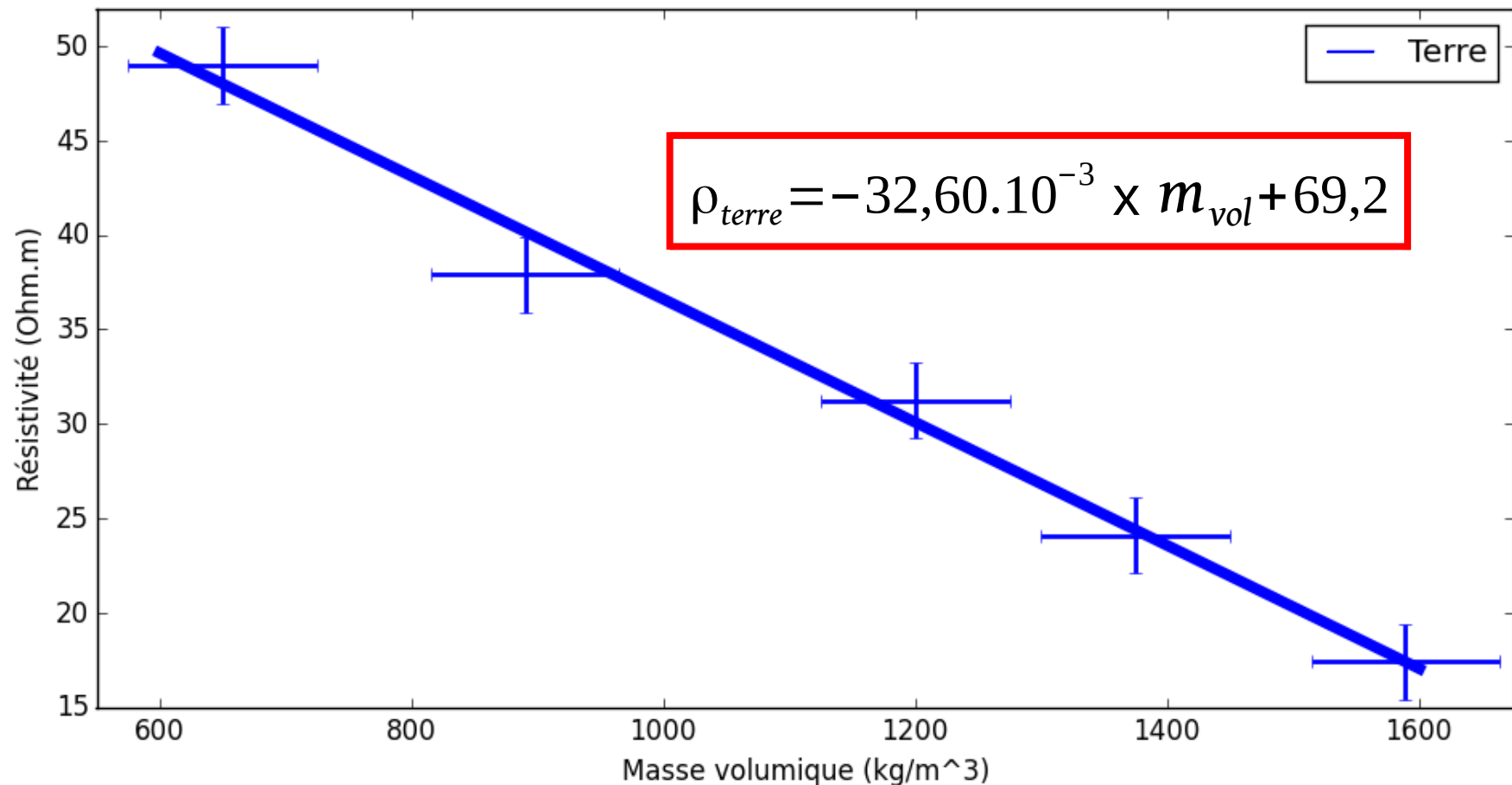
Influence des paramètres

- Teneur en eau t_{eau}



Influence des paramètres

- Masse volumique apparente m_{vol}



Principe Physique

- Cas avec 1 électrode

$$j(r) = \frac{i}{2\pi r^2}$$

Hypothèse milieu
semi-infini

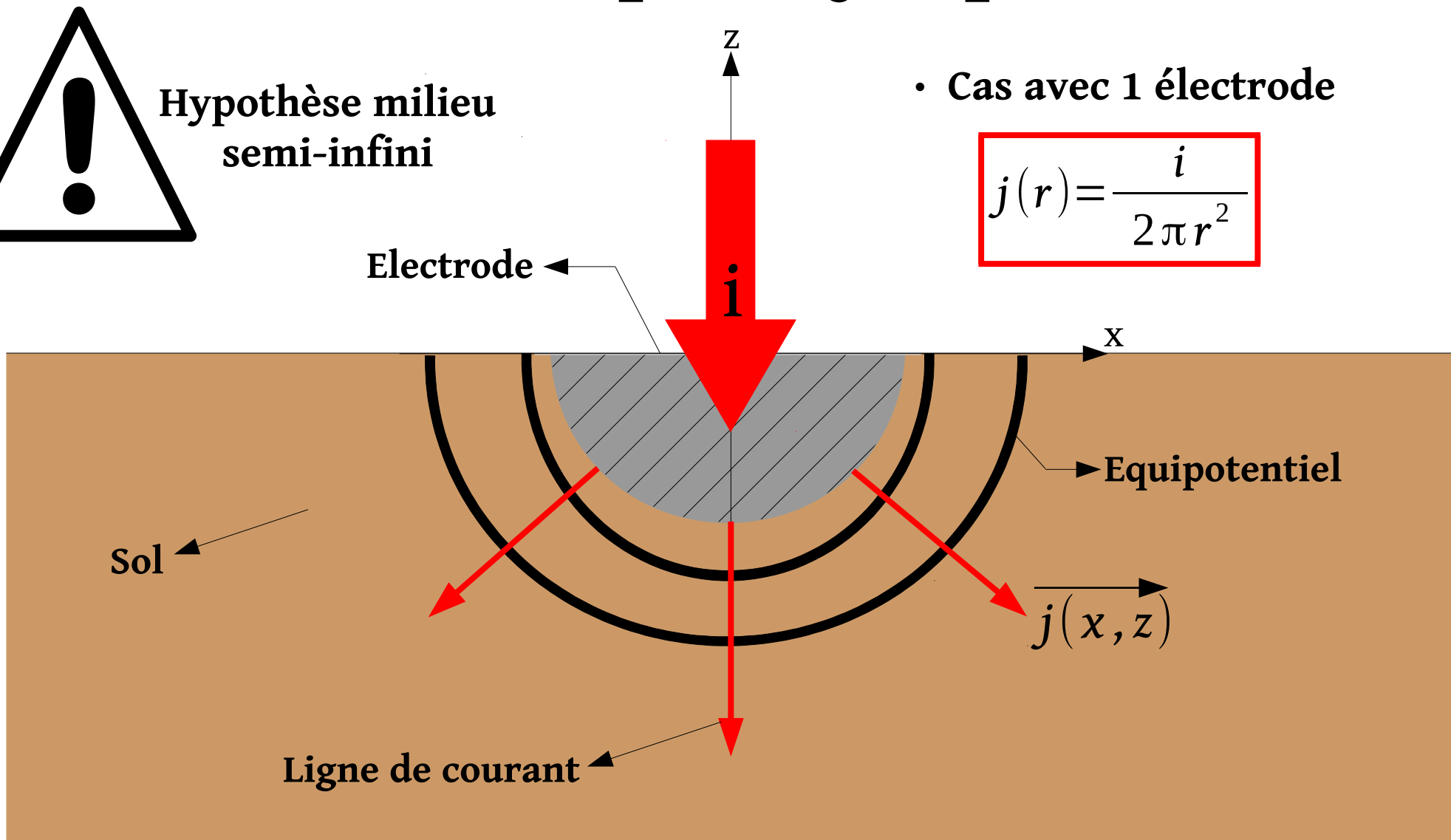
Electrode

Sol

Ligne de courant

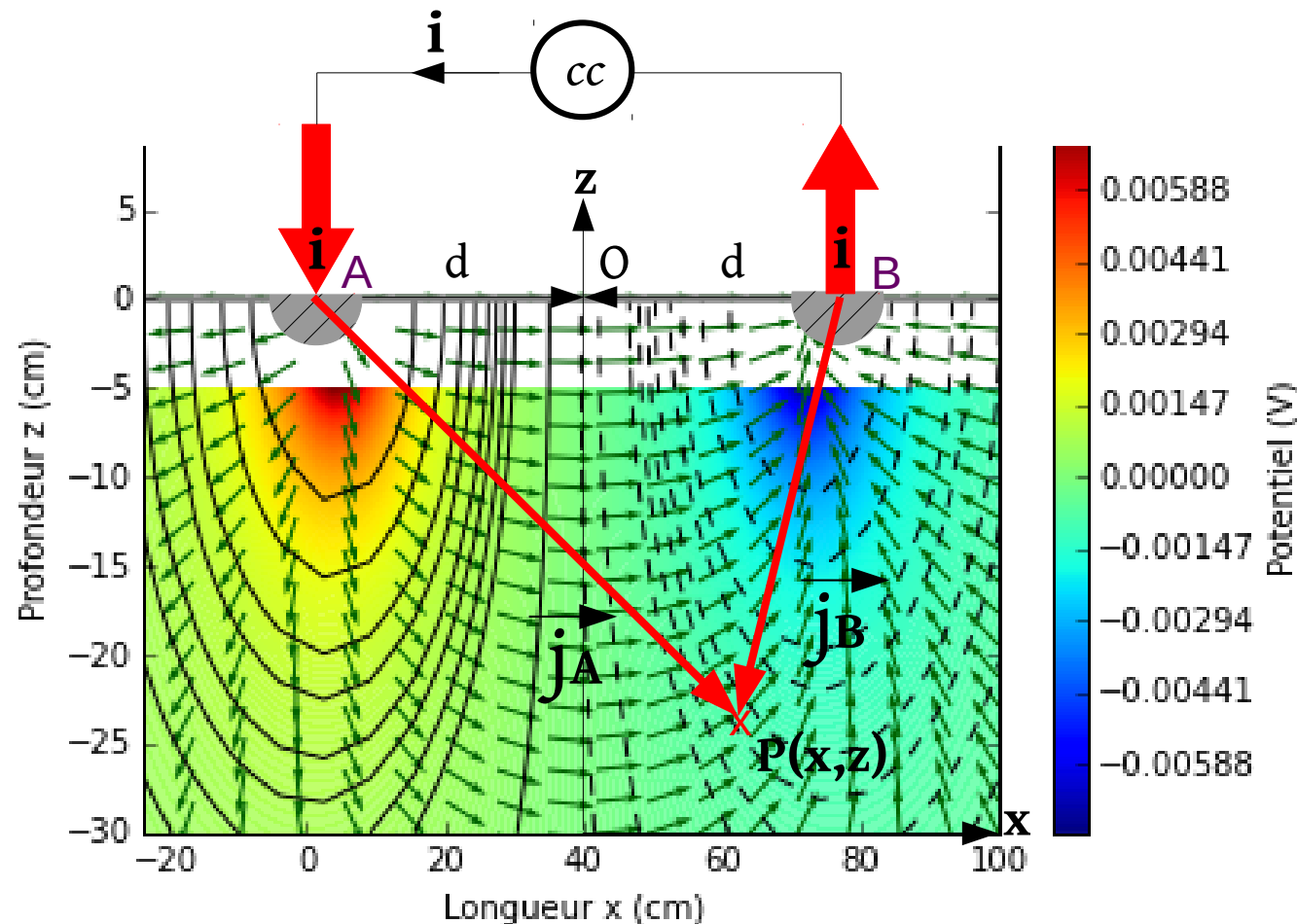
Equipotentiel

$\vec{j}(x, z)$



Quadripôle électrique

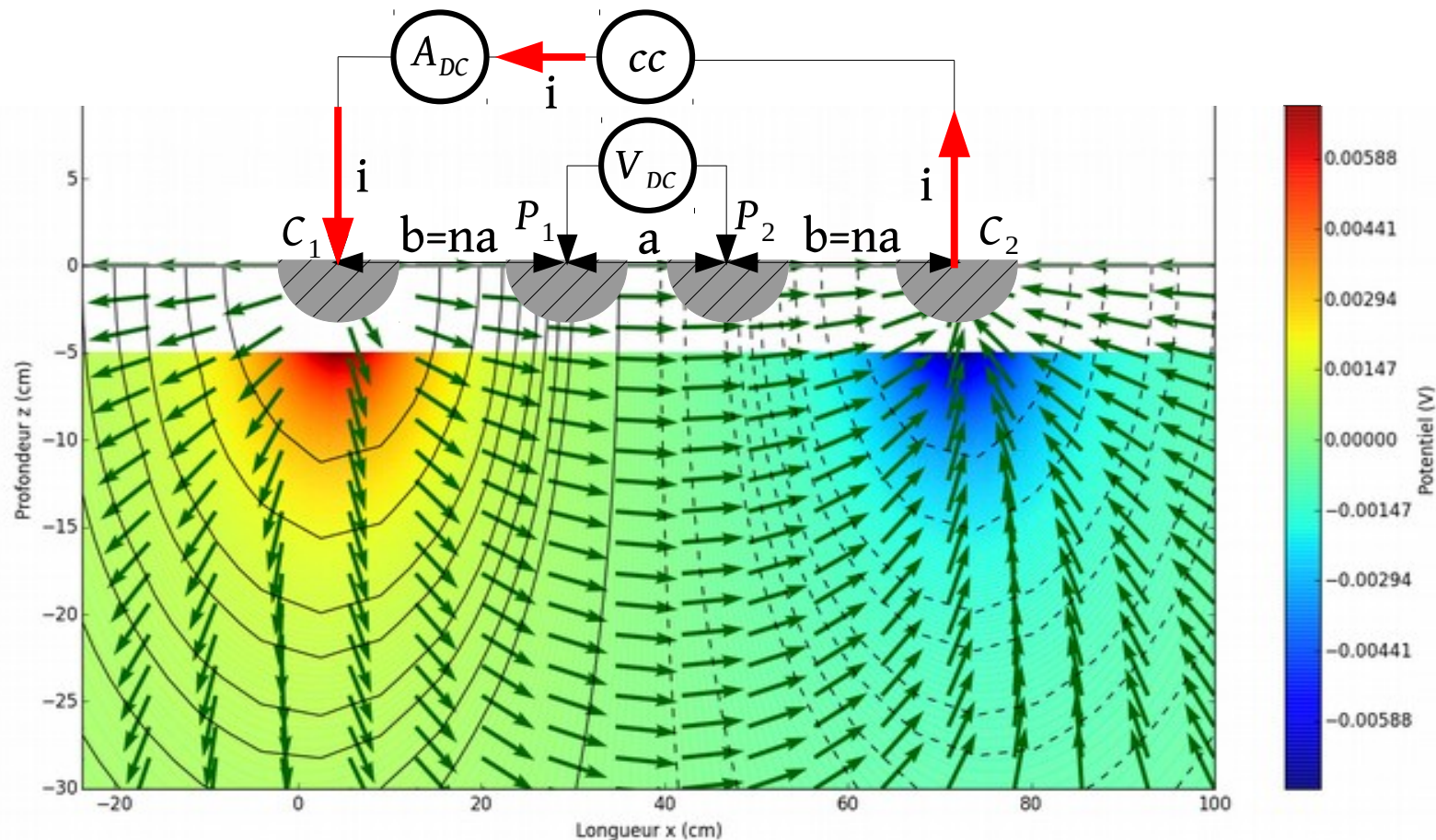
- Cas avec 2 électrodes



Dépend de la géométrie du bac

$$\rho = M \frac{\pi}{2} \frac{(V_A - V_B)}{i} a \frac{(2d - a)}{(d - a)}$$

Cas particulier : disposition Schlumberger



À déterminer

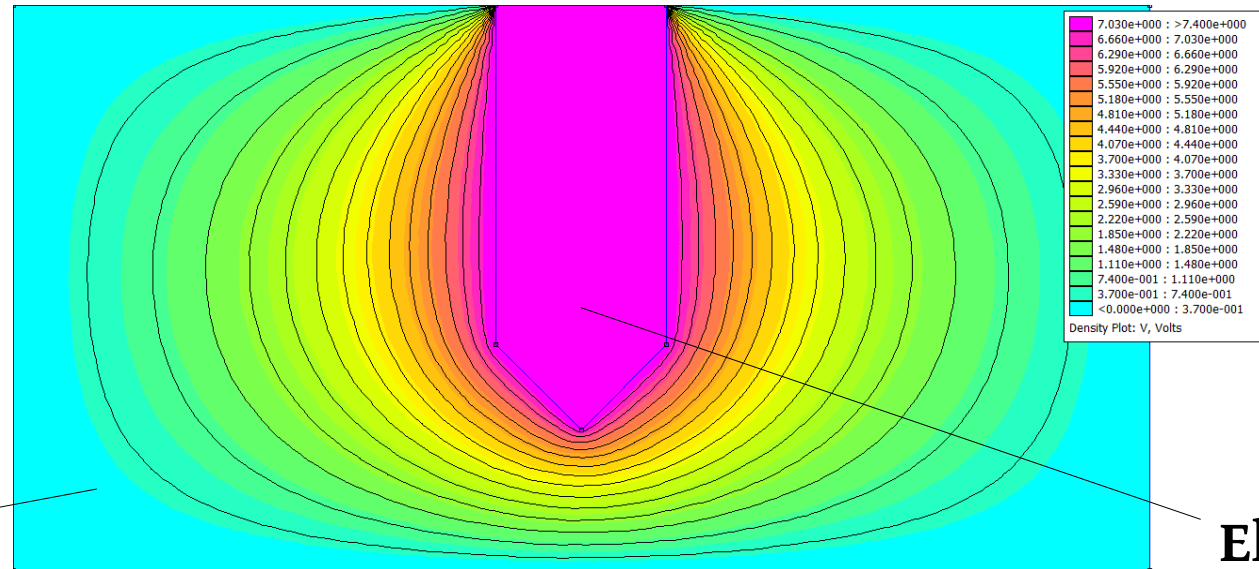
$$\rho = M \pi \frac{\left(b^2 - \frac{a^2}{4}\right)}{a} \frac{U}{i}$$

Détermination de M

Milieu non semi-infini (20x10 cm²)

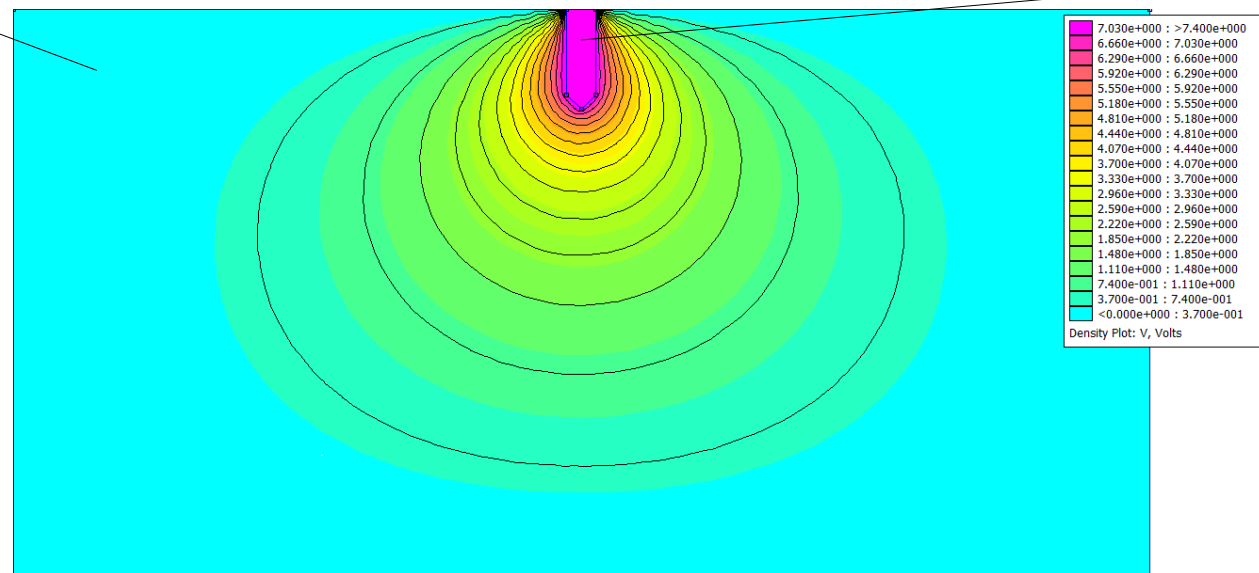


Sol

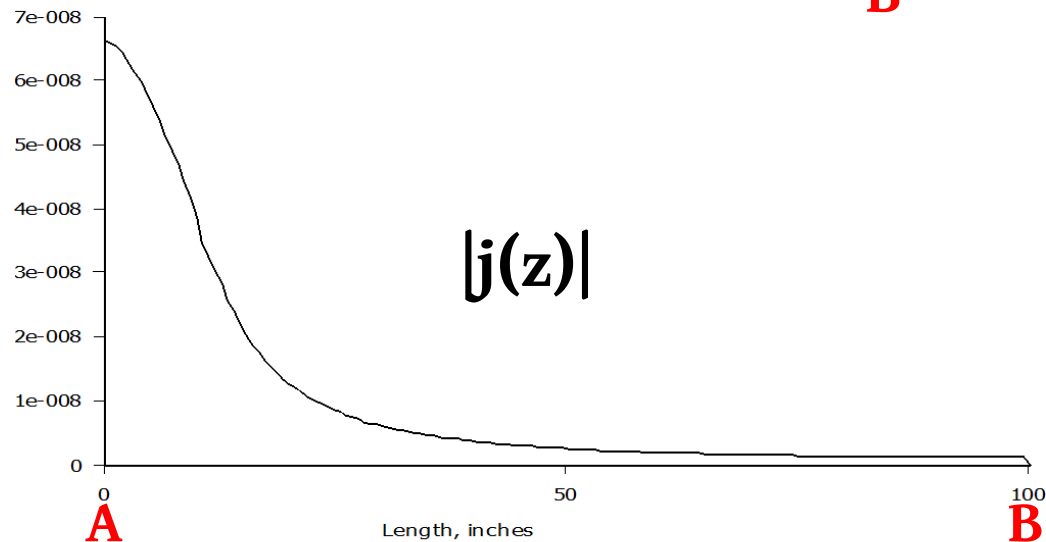
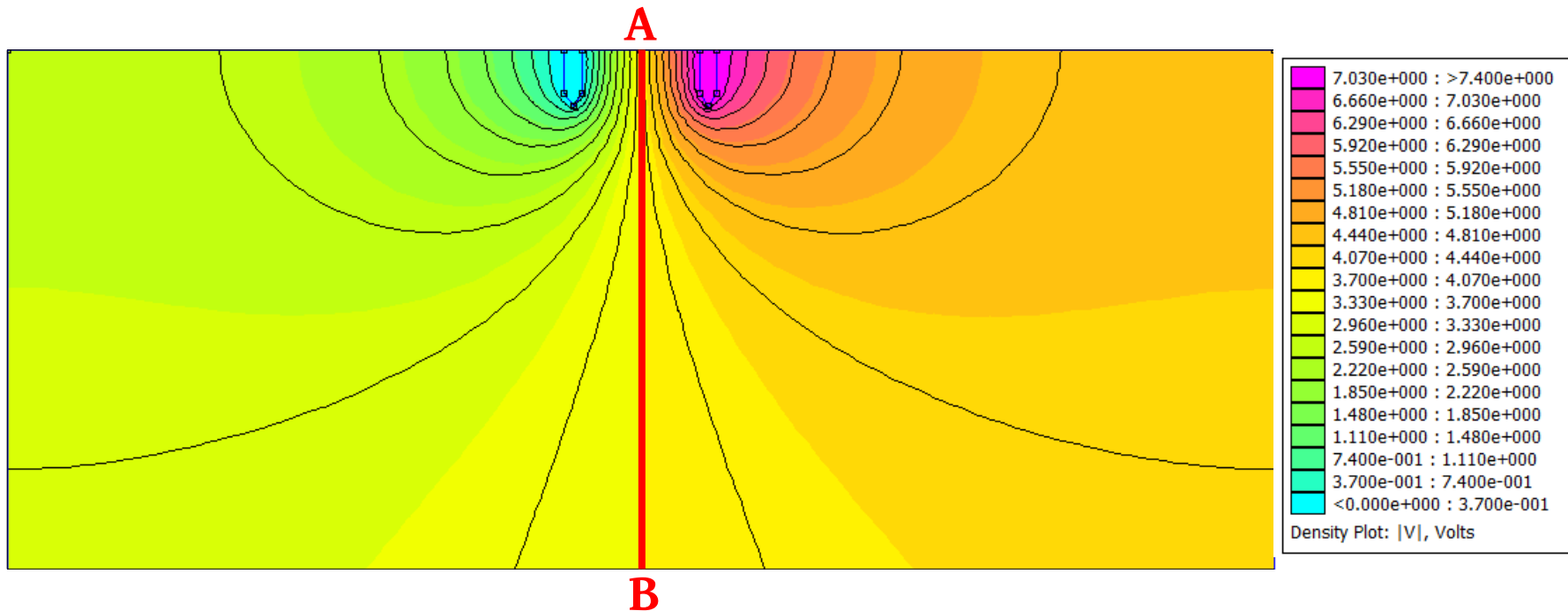


Electrode

Milieu quasi semi-infini (80x40 cm²)

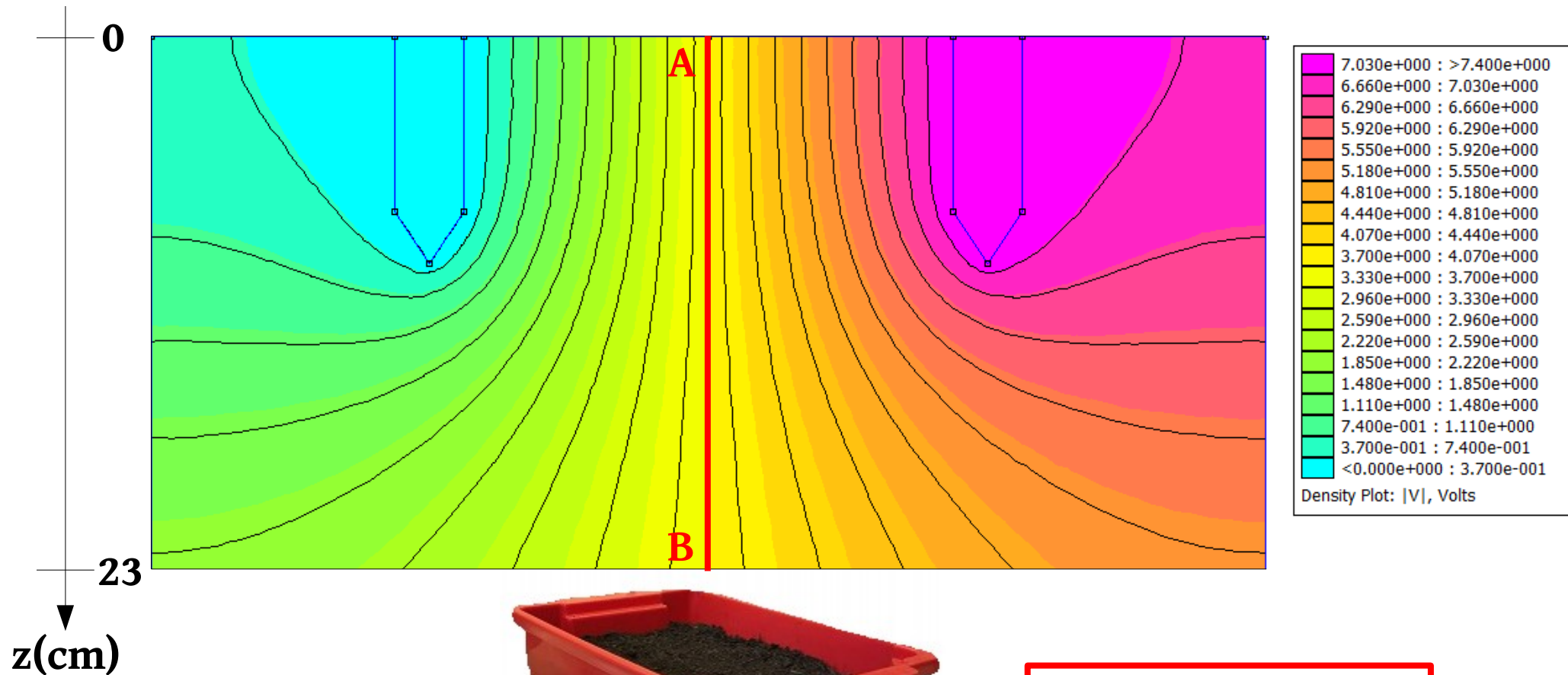


• Principe

Milieu
semi-infini

$$\int_{z=z_A}^{z=z_B} |j(z)| L dz = J_{inf}$$

• Bac numéro 1 (32 x 23 cm²)

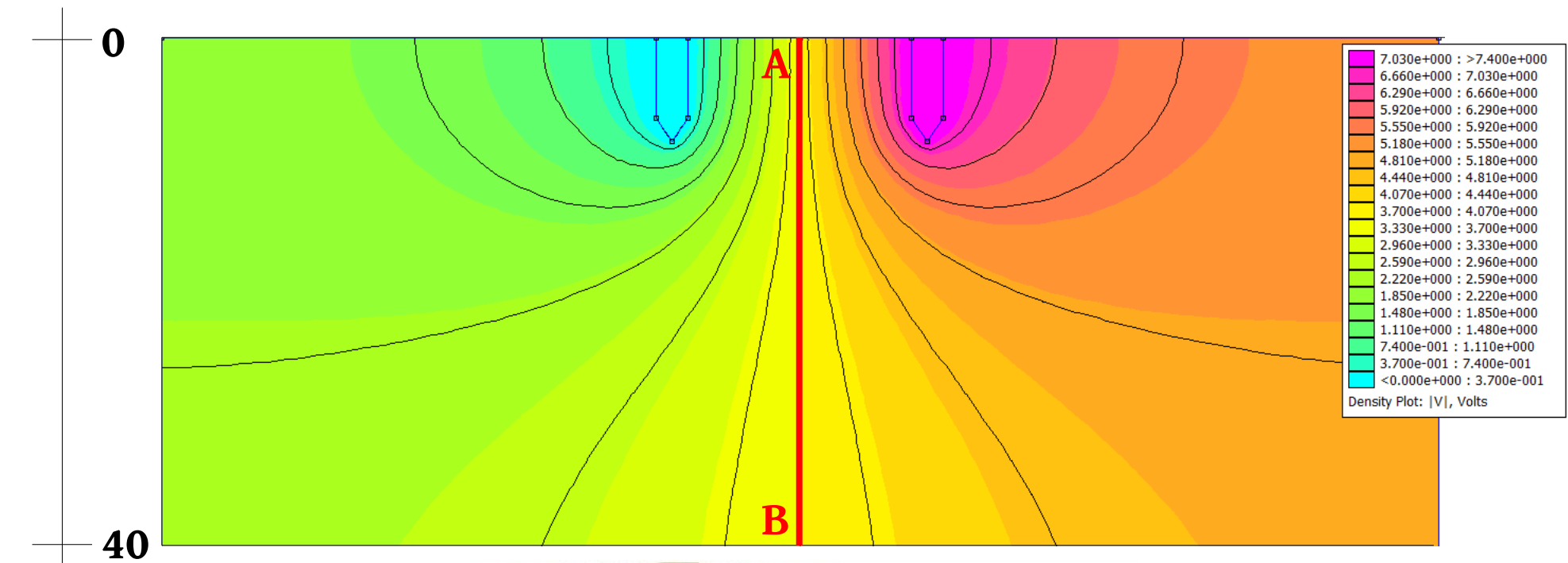


Bac rejeté



$$M = \frac{J_{inf}}{J_{Bac\ 1}} = 0,18$$

• Bac numéro 2 (80 x 40 cm²)



Bac retenu

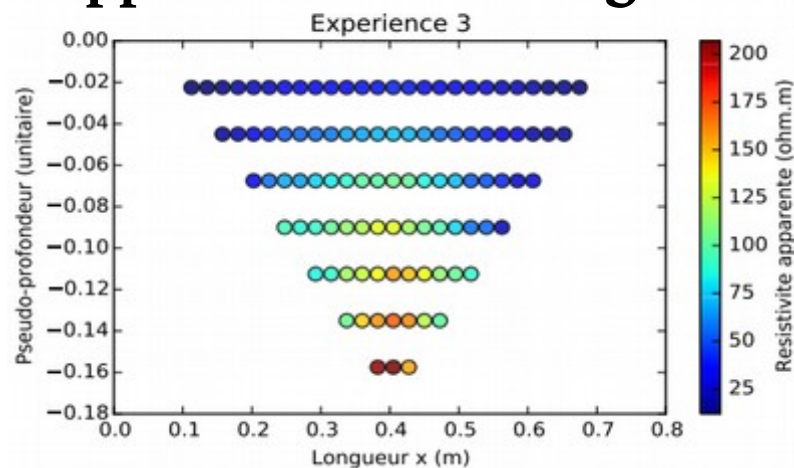


$$M = \frac{J_{inf}}{J_{Bac\ 2}} = 0,56$$



Electrode

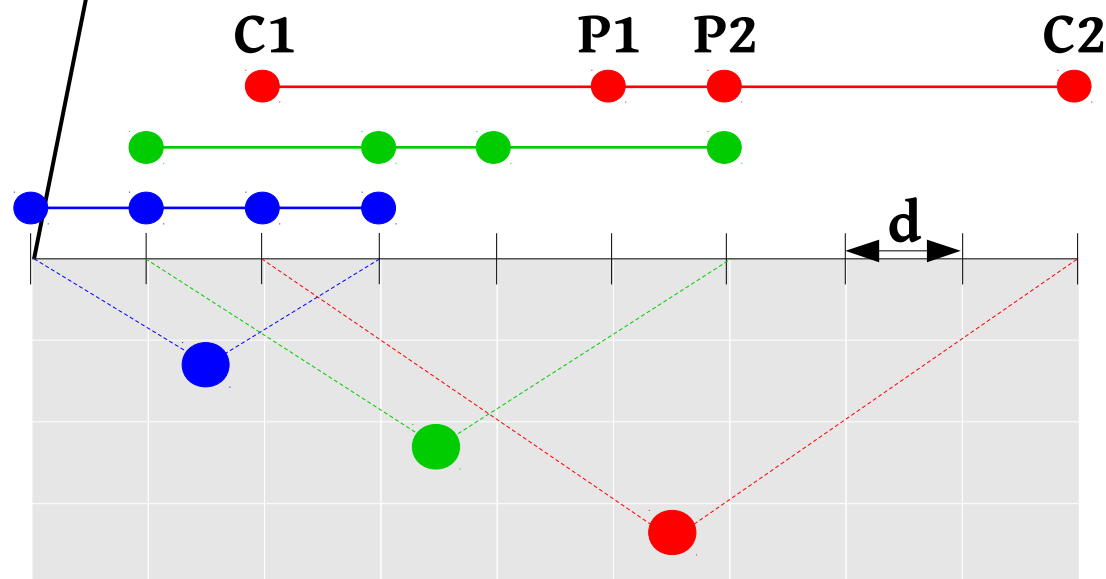
Carte de résistivité apparente : sol homogène



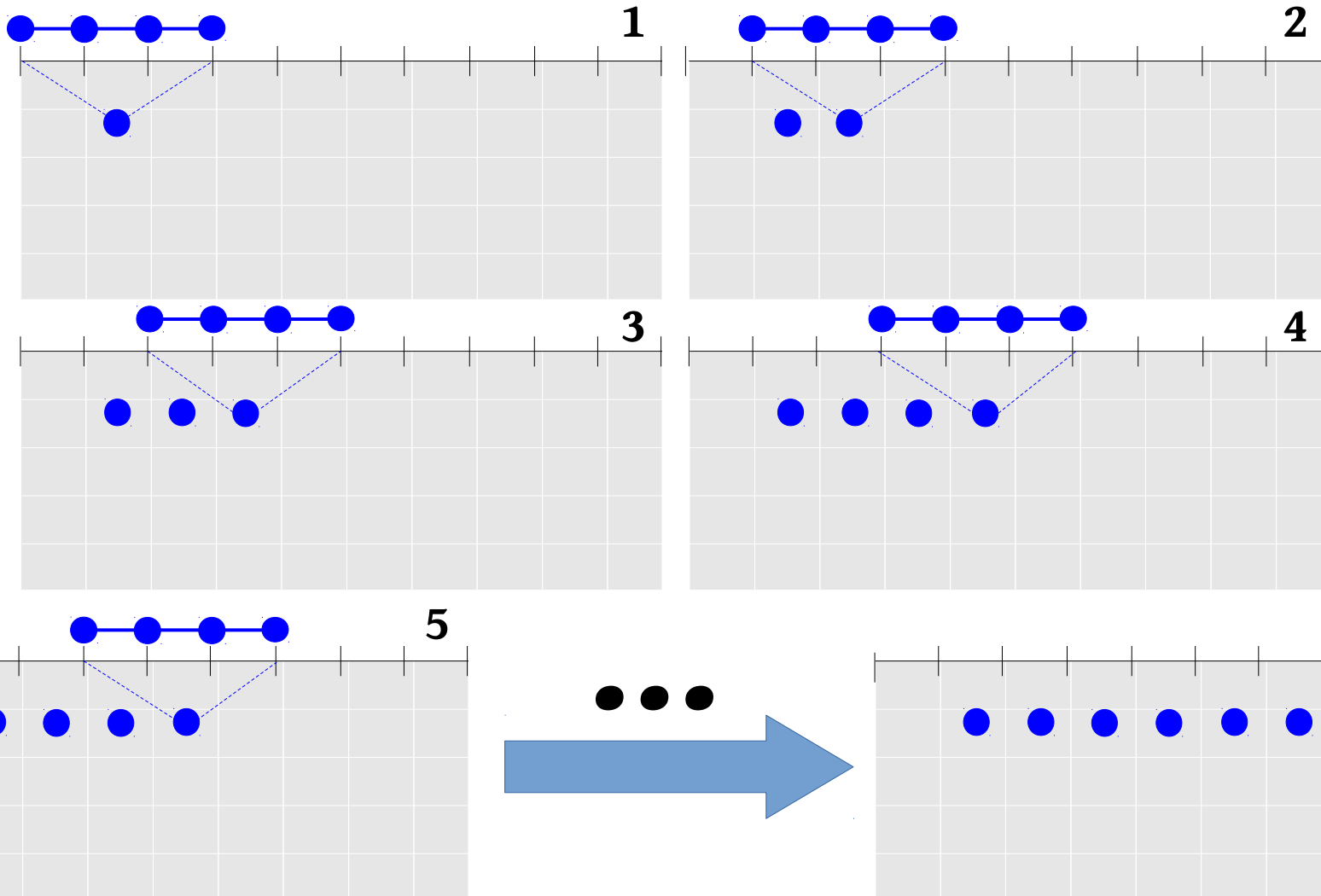
Mesures

$$x = d \frac{(P_1 + P_2)}{2}$$

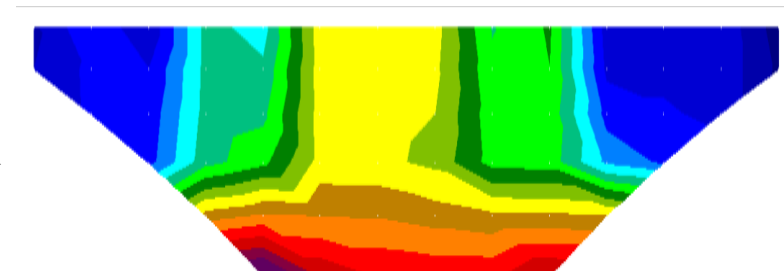
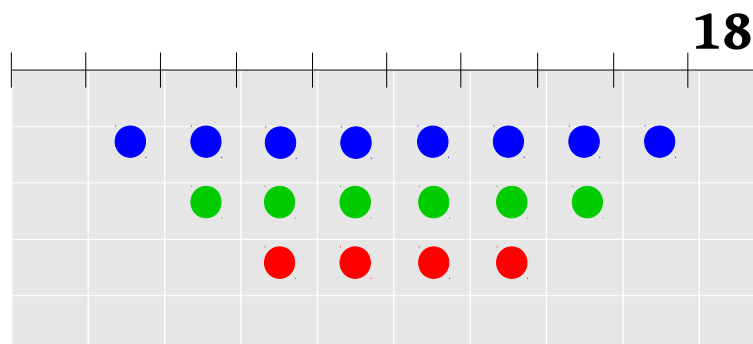
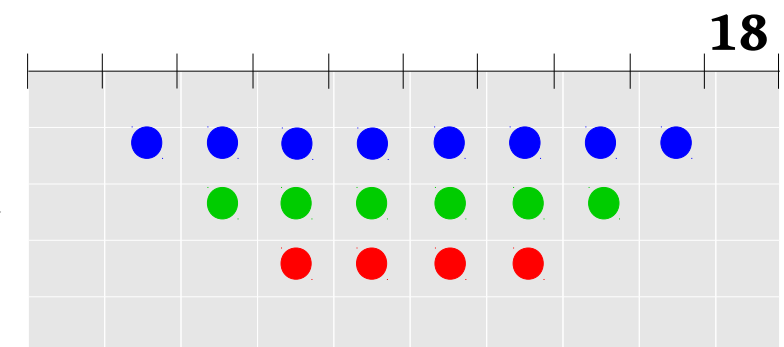
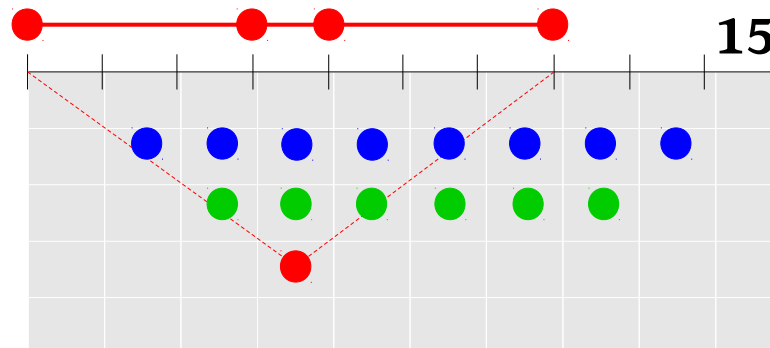
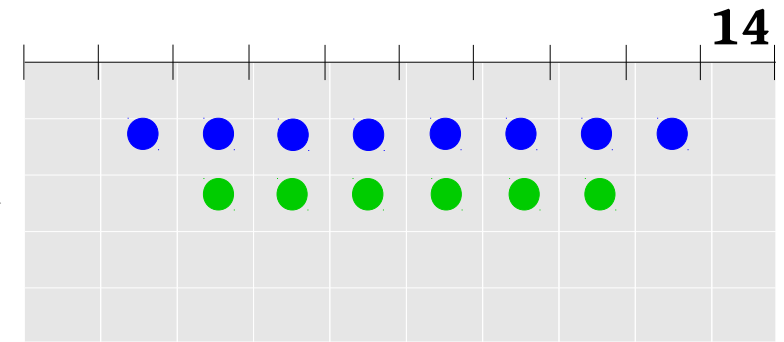
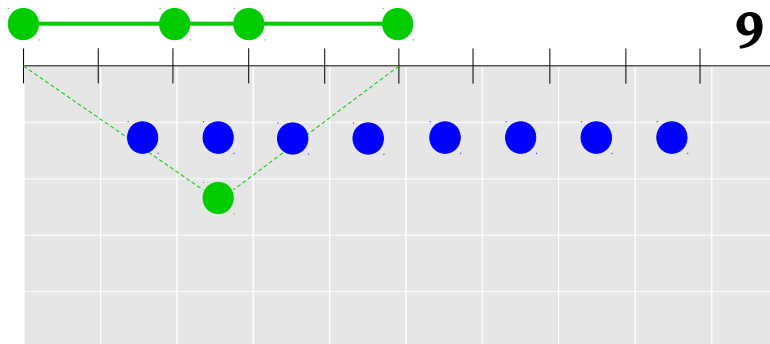
$$z = -d \frac{(C_2 - C_1) - (P_2 - P_1)}{4}$$



Mesures

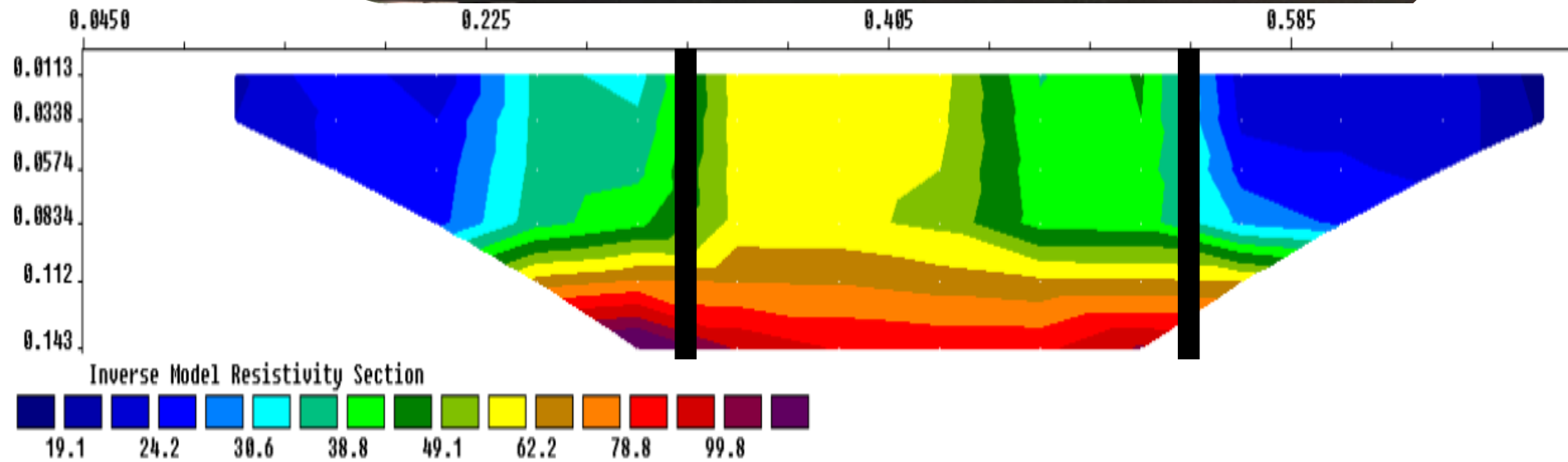
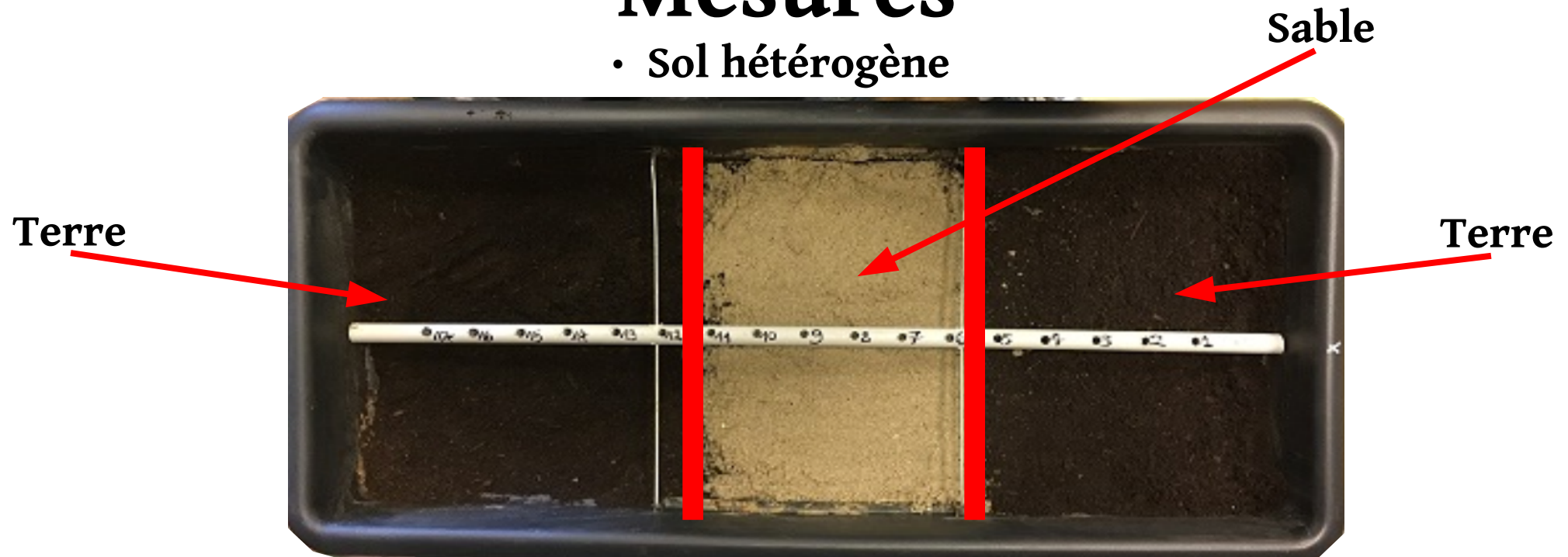


Mesures



Mesures

- Sol hétérogène



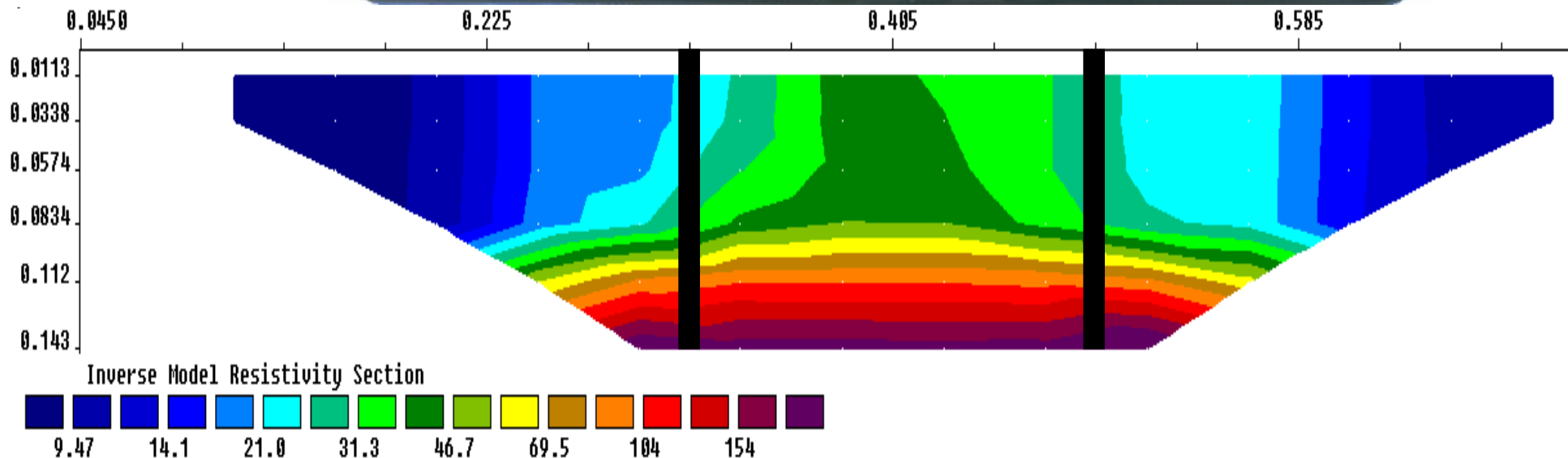
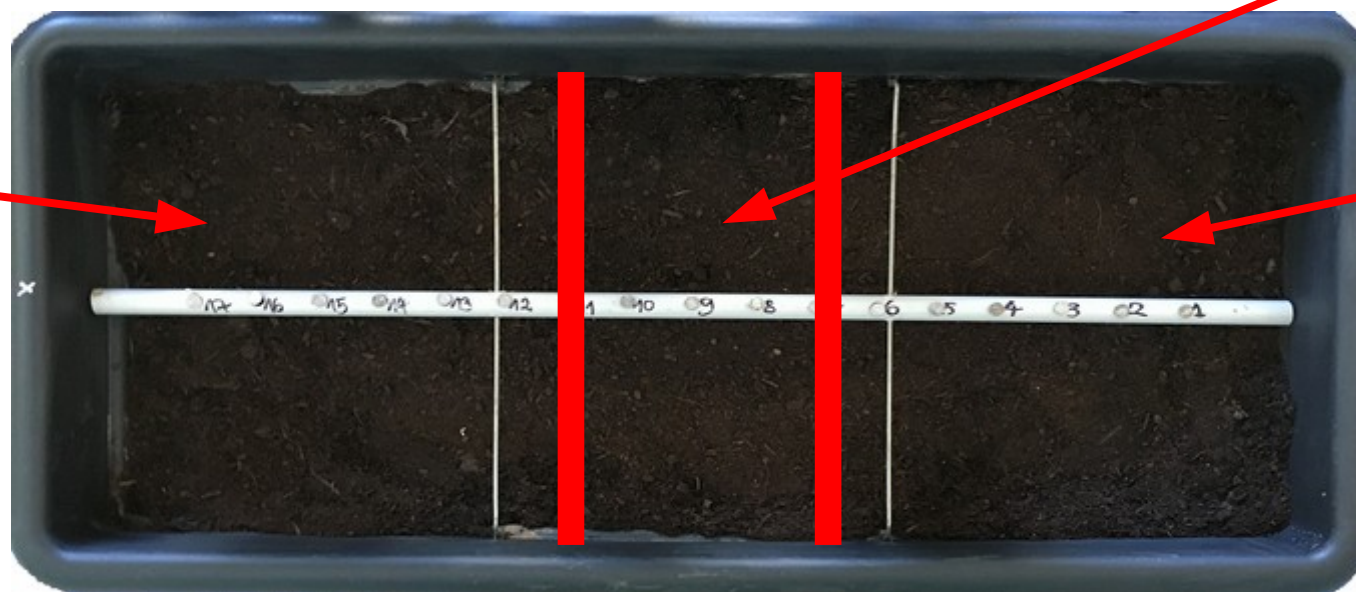
Mesures

- Sol de masse volumique hétérogène

Zone
compactée

Zone
labourée

Zone
compactée



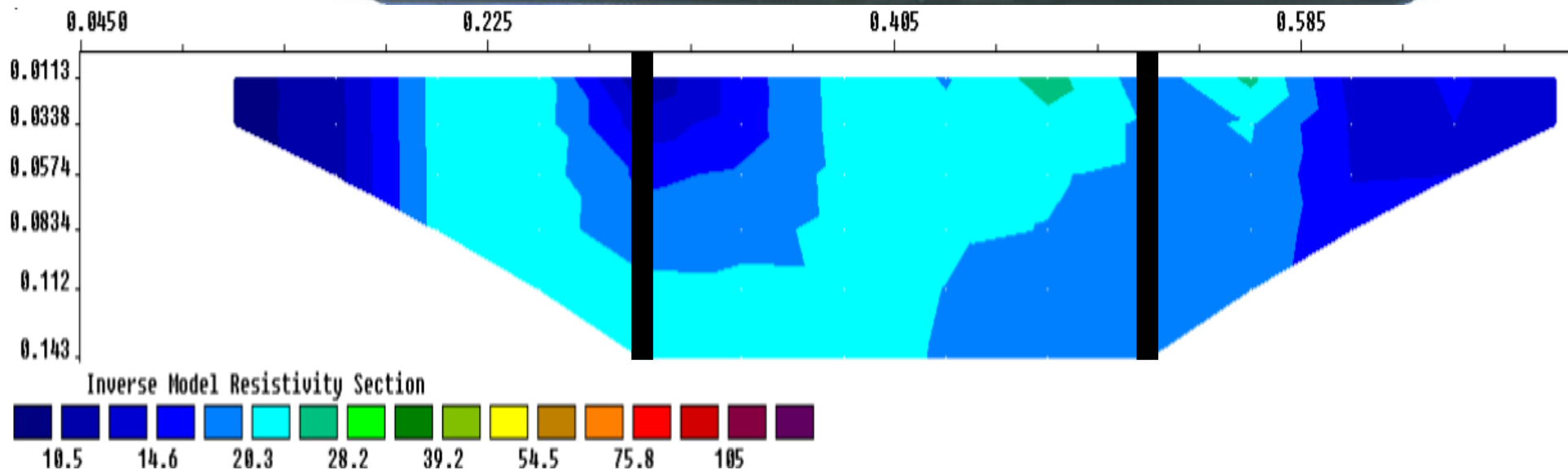
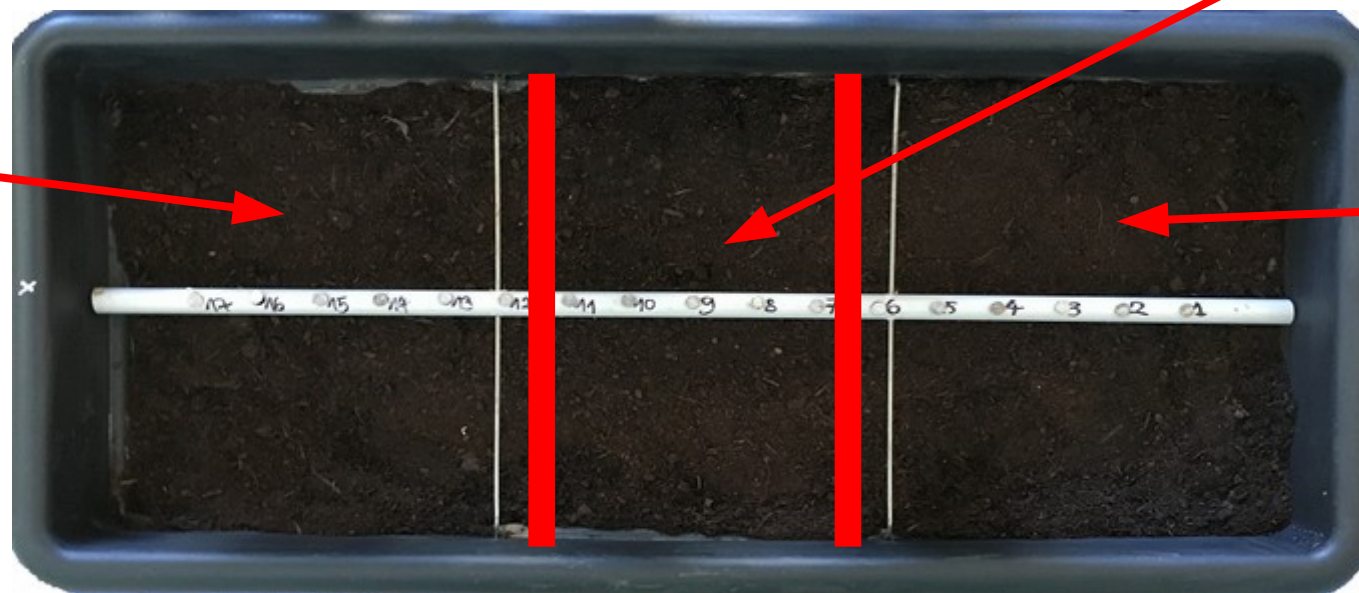
Mesures

- Teneur en eau

Zone non humidifiée

Zone humidifiée

Zone non humidifiée



Principe Physique

- Perméabilité

Coefficient de
perméabilité de
Darcy (m/s)

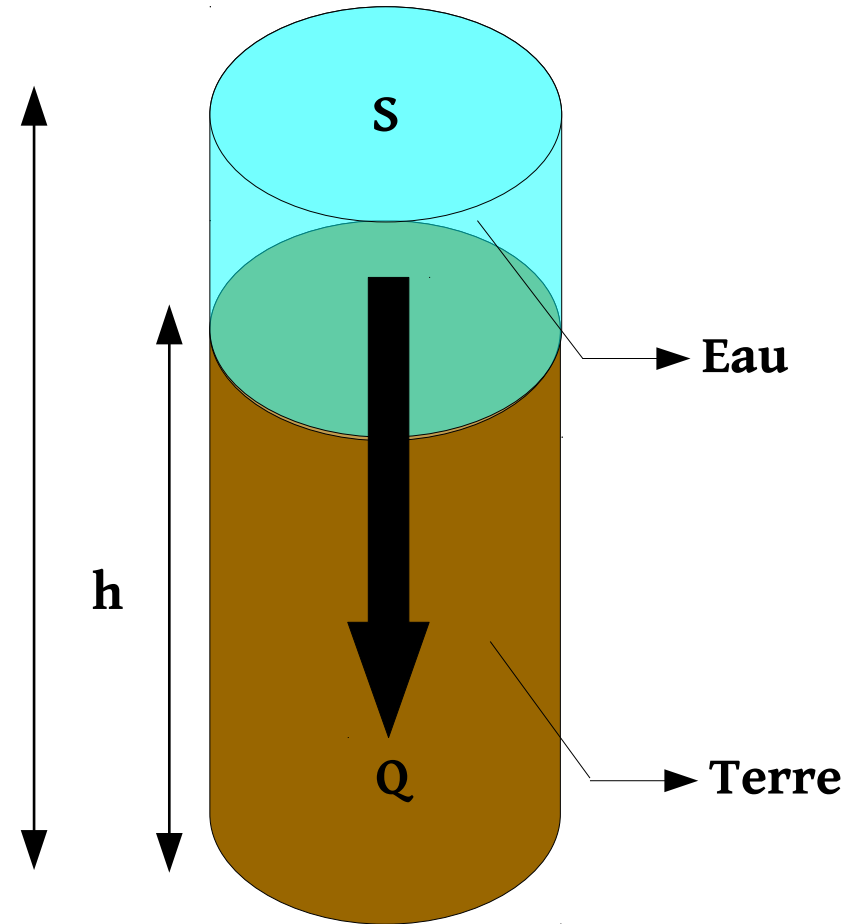
$$Q = K S \frac{H}{h}$$

Débit (m³/s)

Loi de Darcy

H

h



Mesure du coefficient de perméabilité

• Détermination de K

$$Q = K S \frac{H}{h}$$

$$K = \frac{a}{(4 \Delta t)} \ln \frac{(a + 4 z_2)}{(a + 4 z_1)}$$

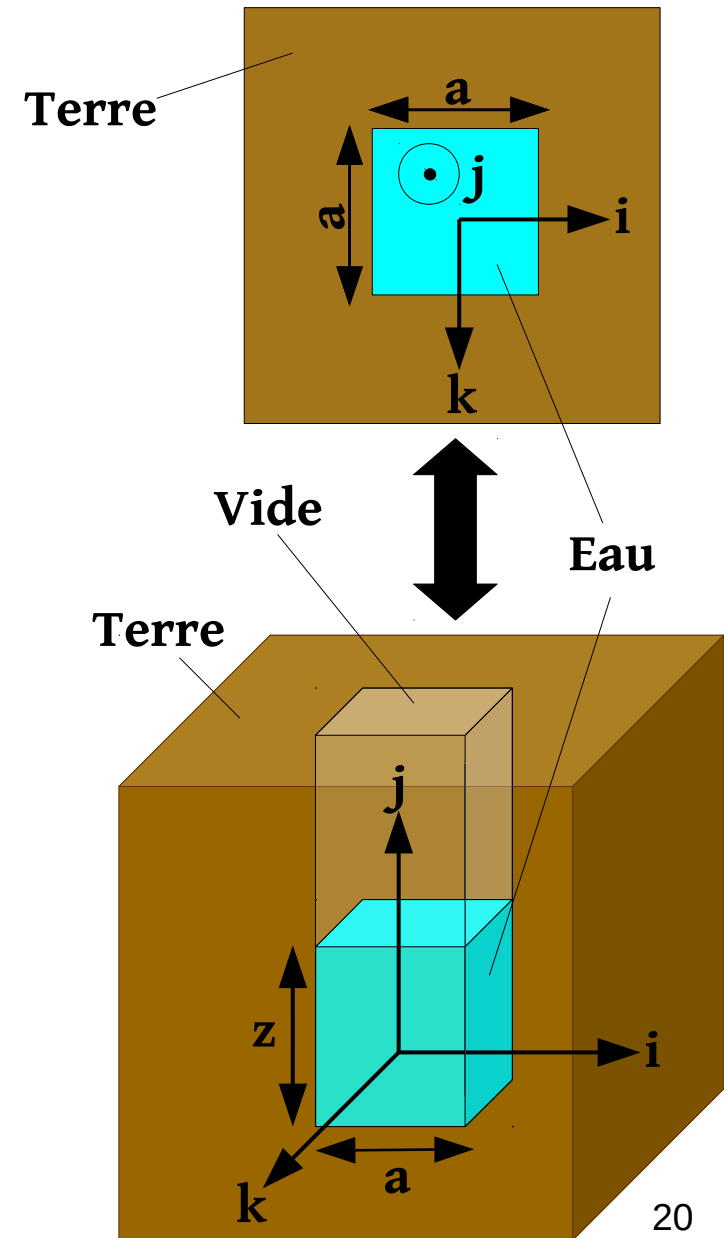
$$Q = \frac{dV}{dt}$$

$$K_{\text{terre}} = 1,6 \cdot 10^{-2} \pm 5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$K_{\text{sable}} = 2,8 \cdot 10^{-2} \pm 5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

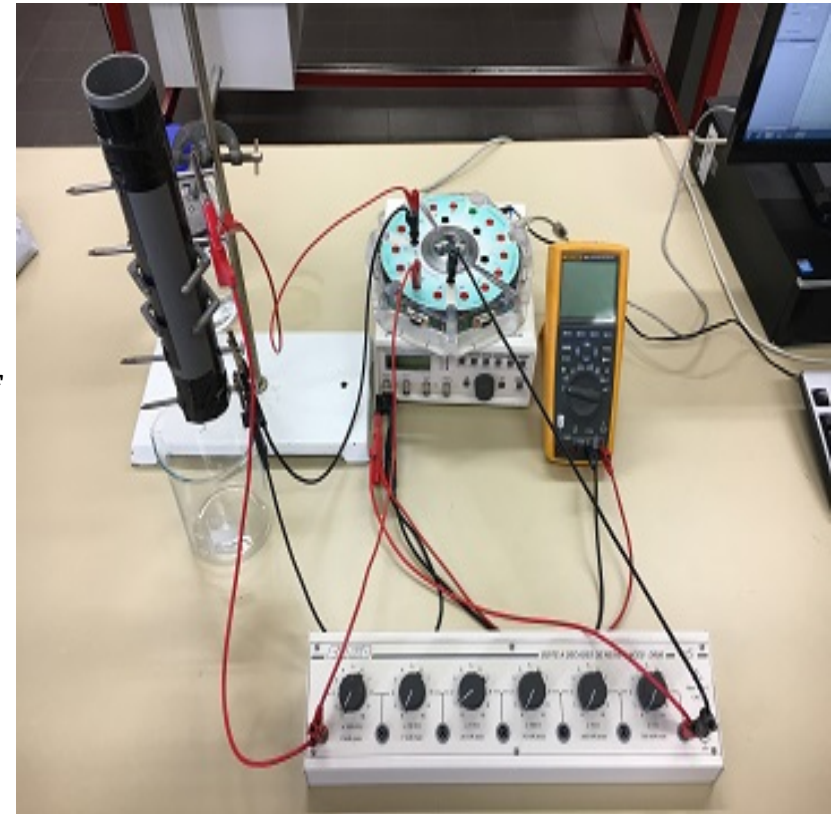
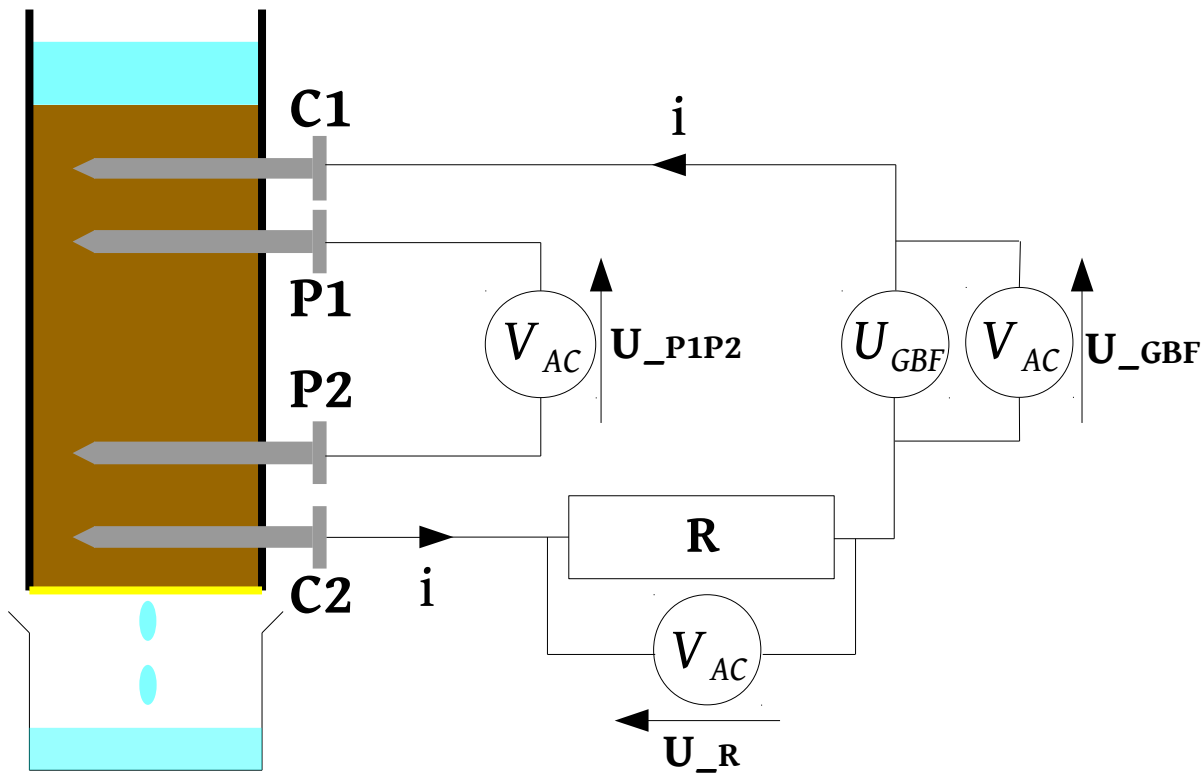
Résultats pour de la
terre avec $\Delta z = 6 \text{ cm}$

Exp	$\Delta t \text{ (s)}$	$K \text{ (m/s)}$
1	18,6	1,49E-2
2	16,4	1,69E-2
3	17,6	1,57E-2
4	18,2	1,52E-2
5	19,6	1,41E-2



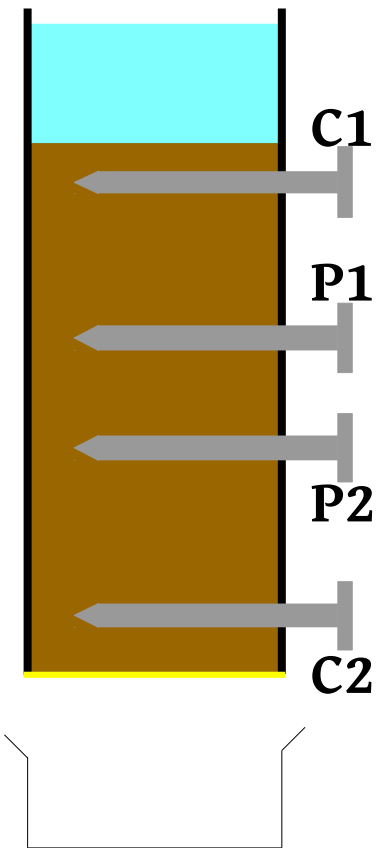
Expériences

- Dispositif expérimental



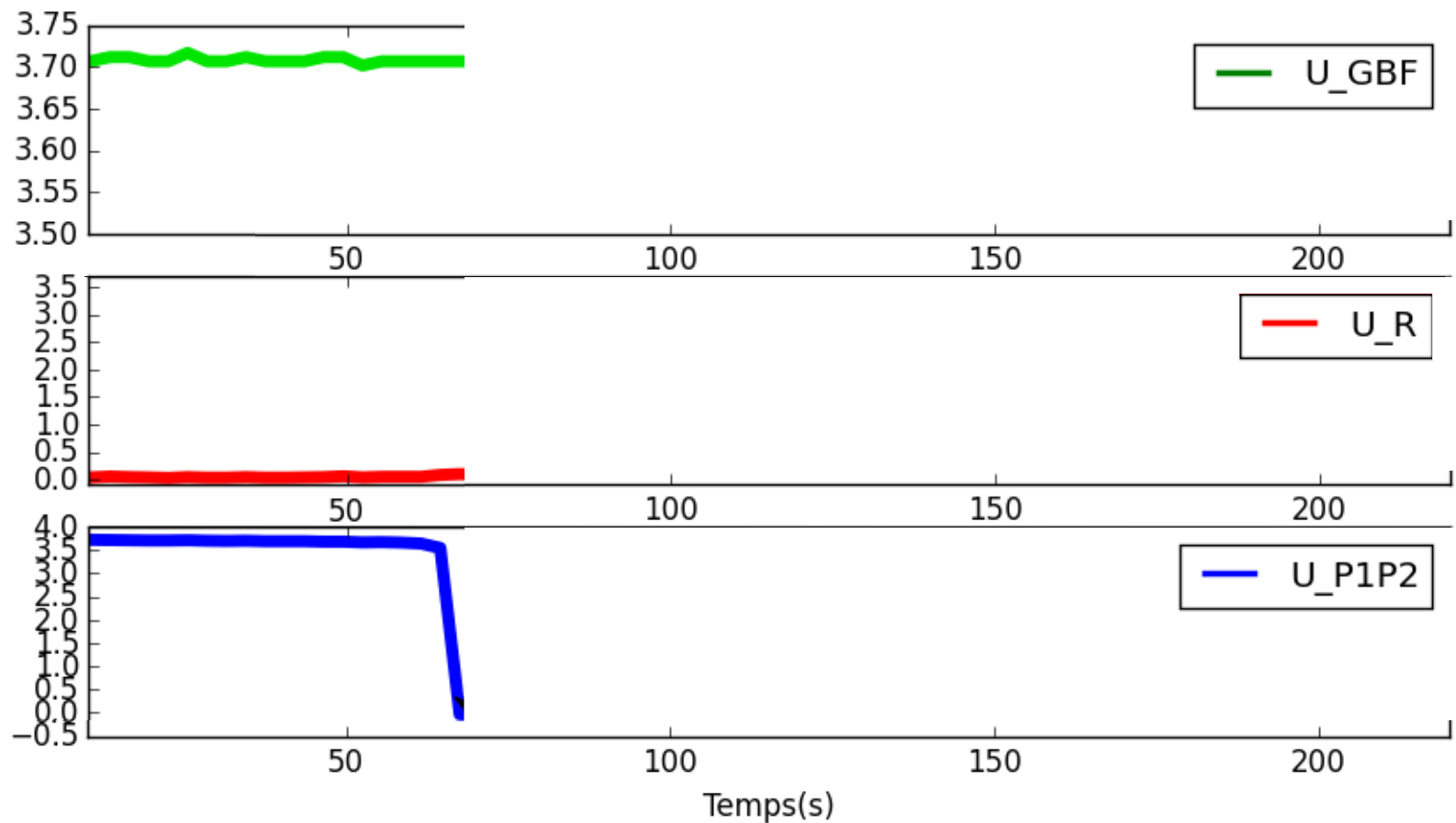
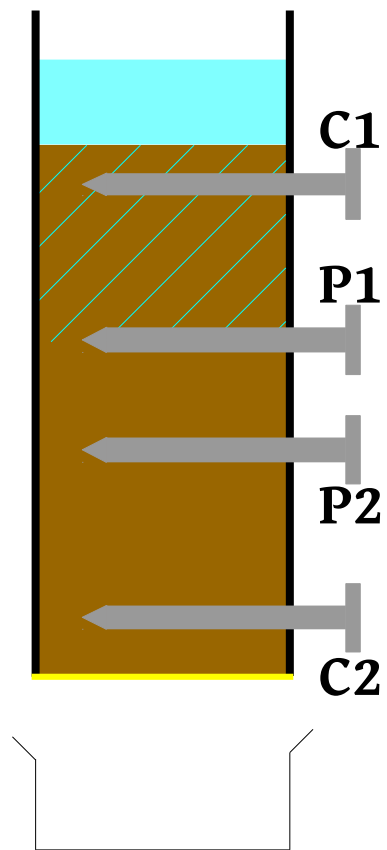
Expériences

- Principe



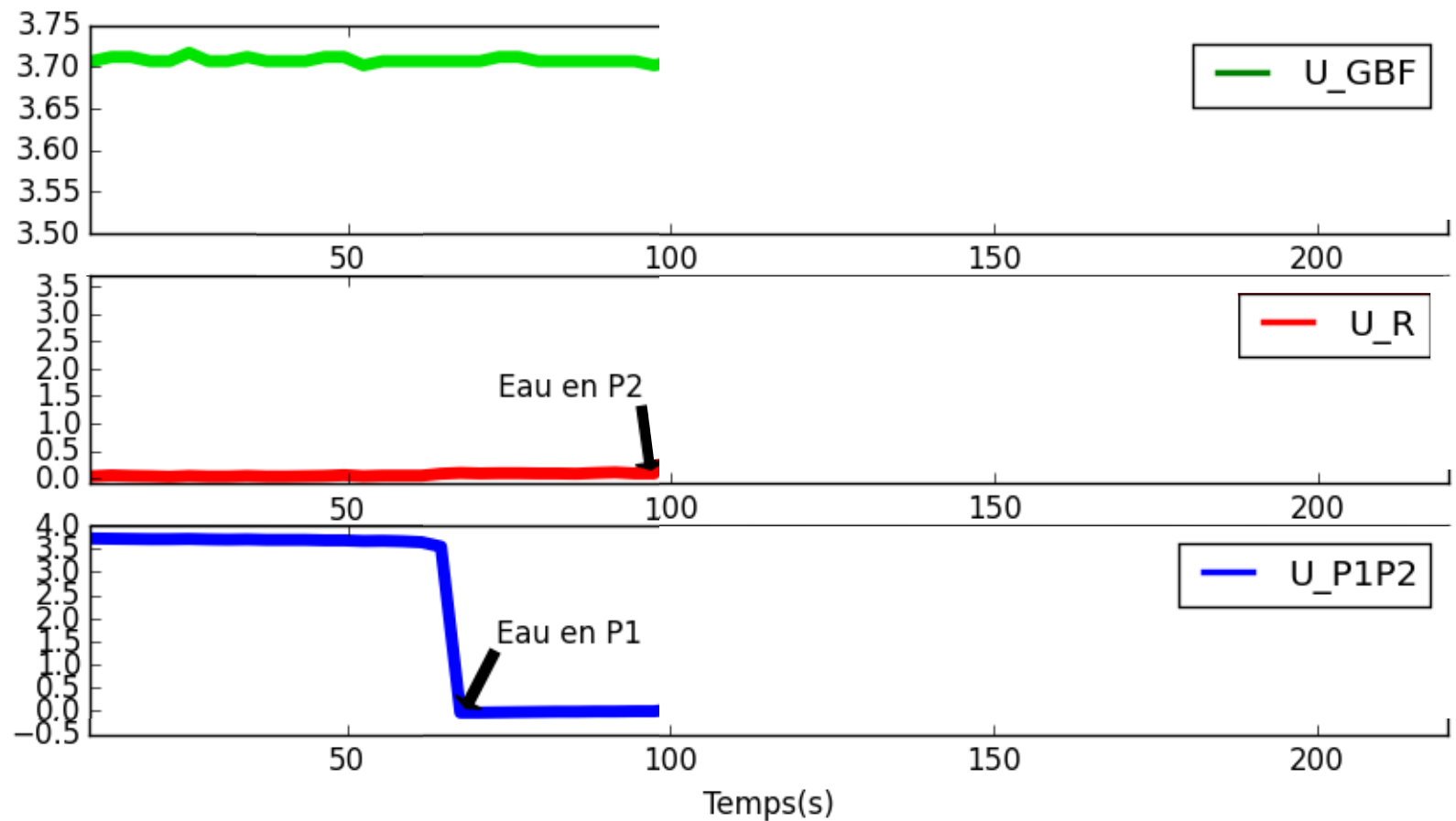
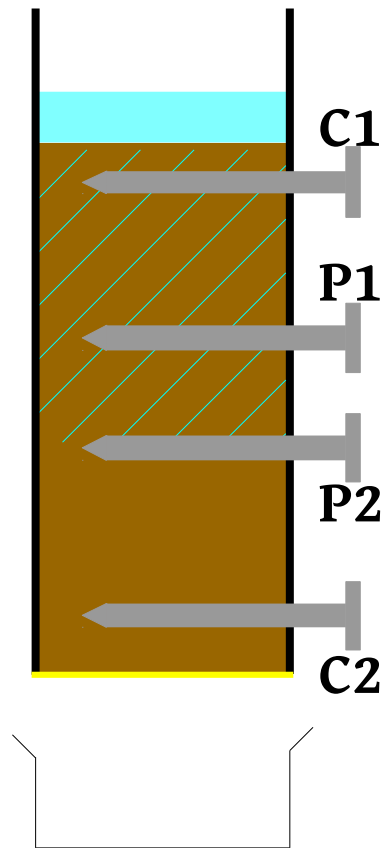
Expériences

- Principe



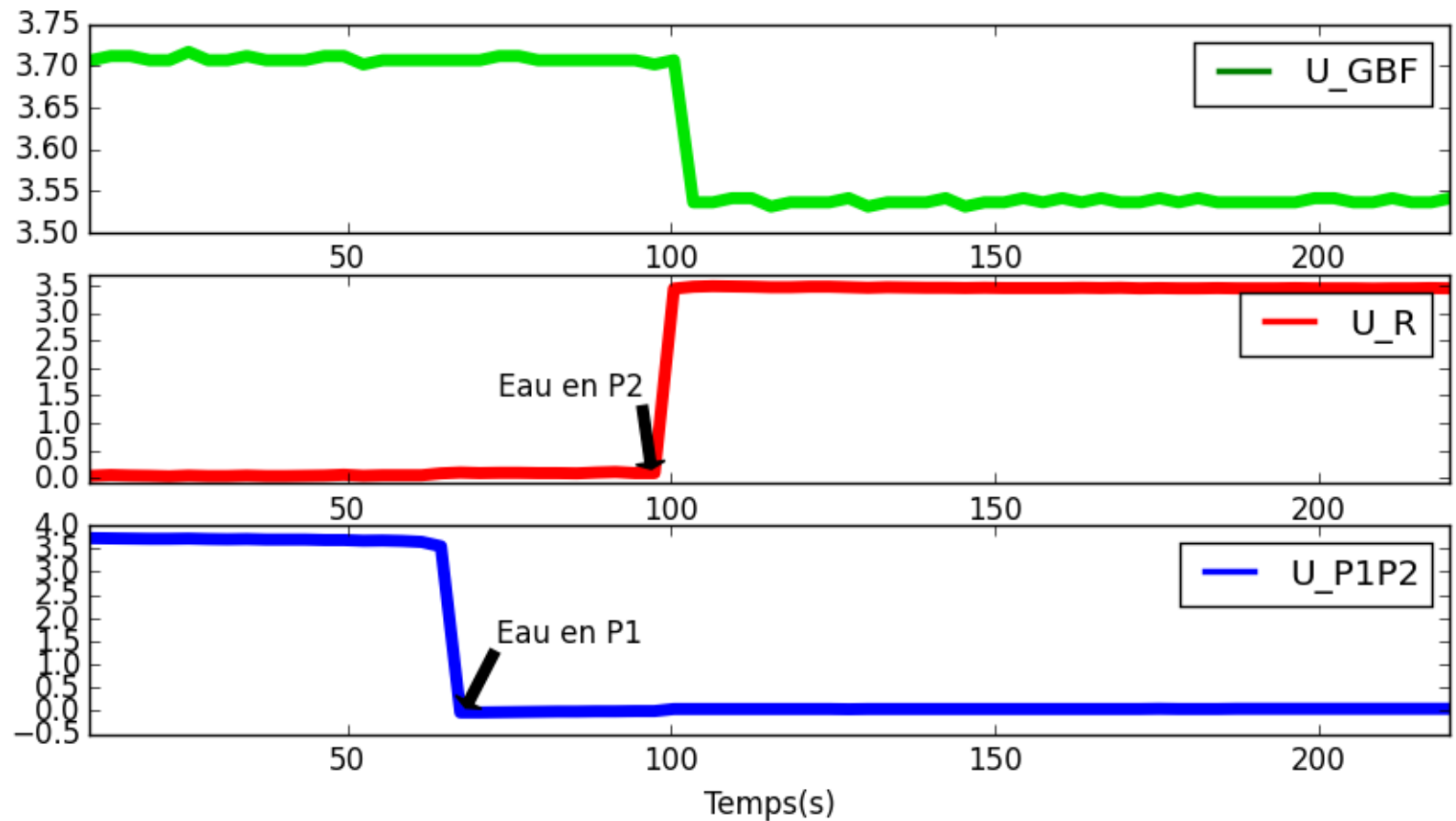
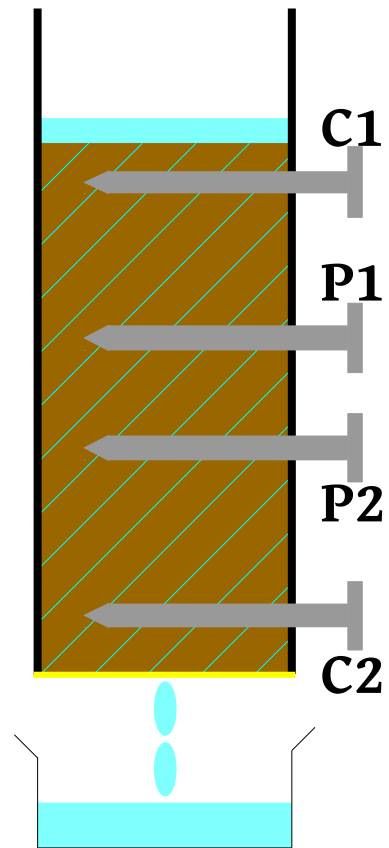
Expériences

- Principe



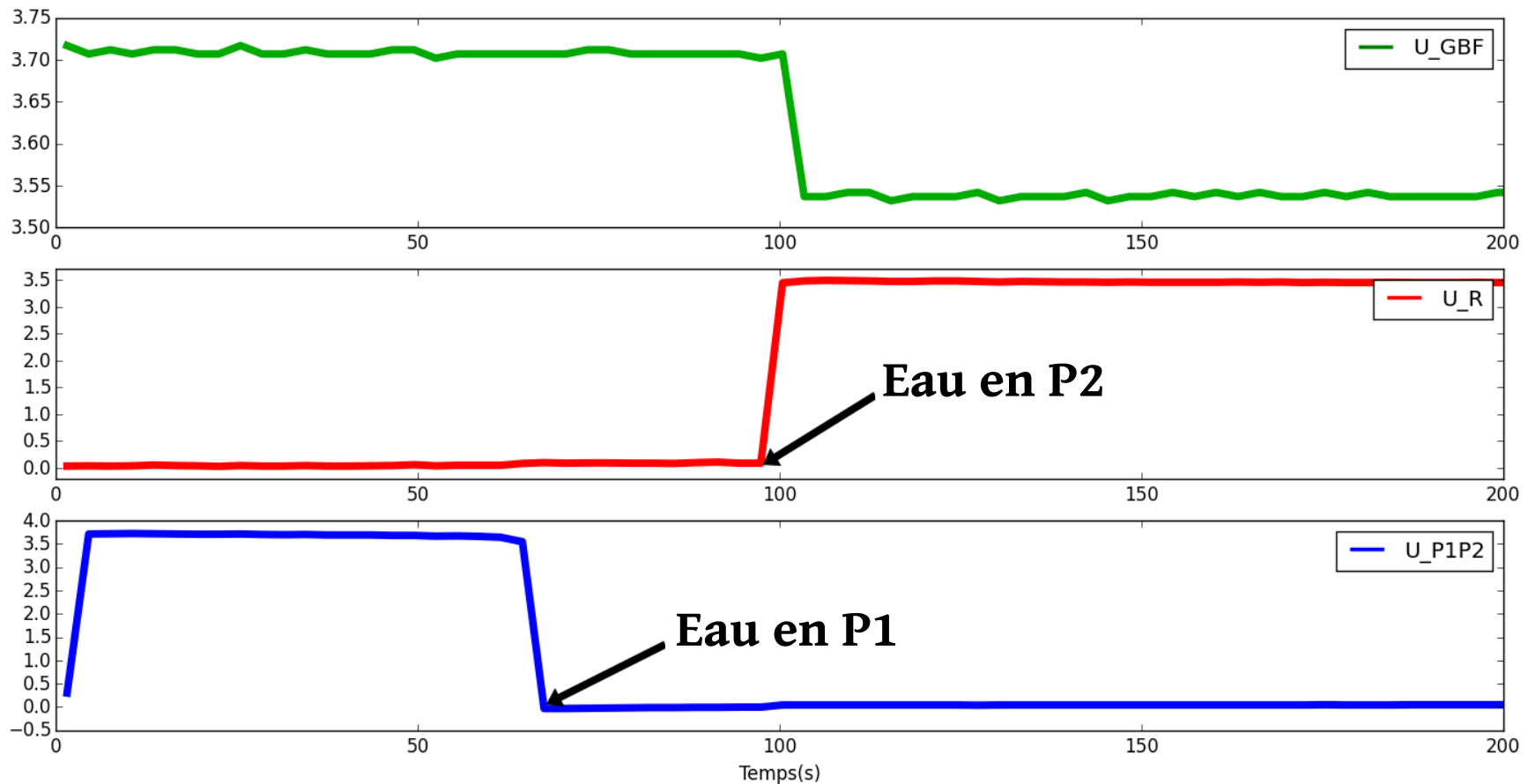
Expériences

- Principe



Expériences

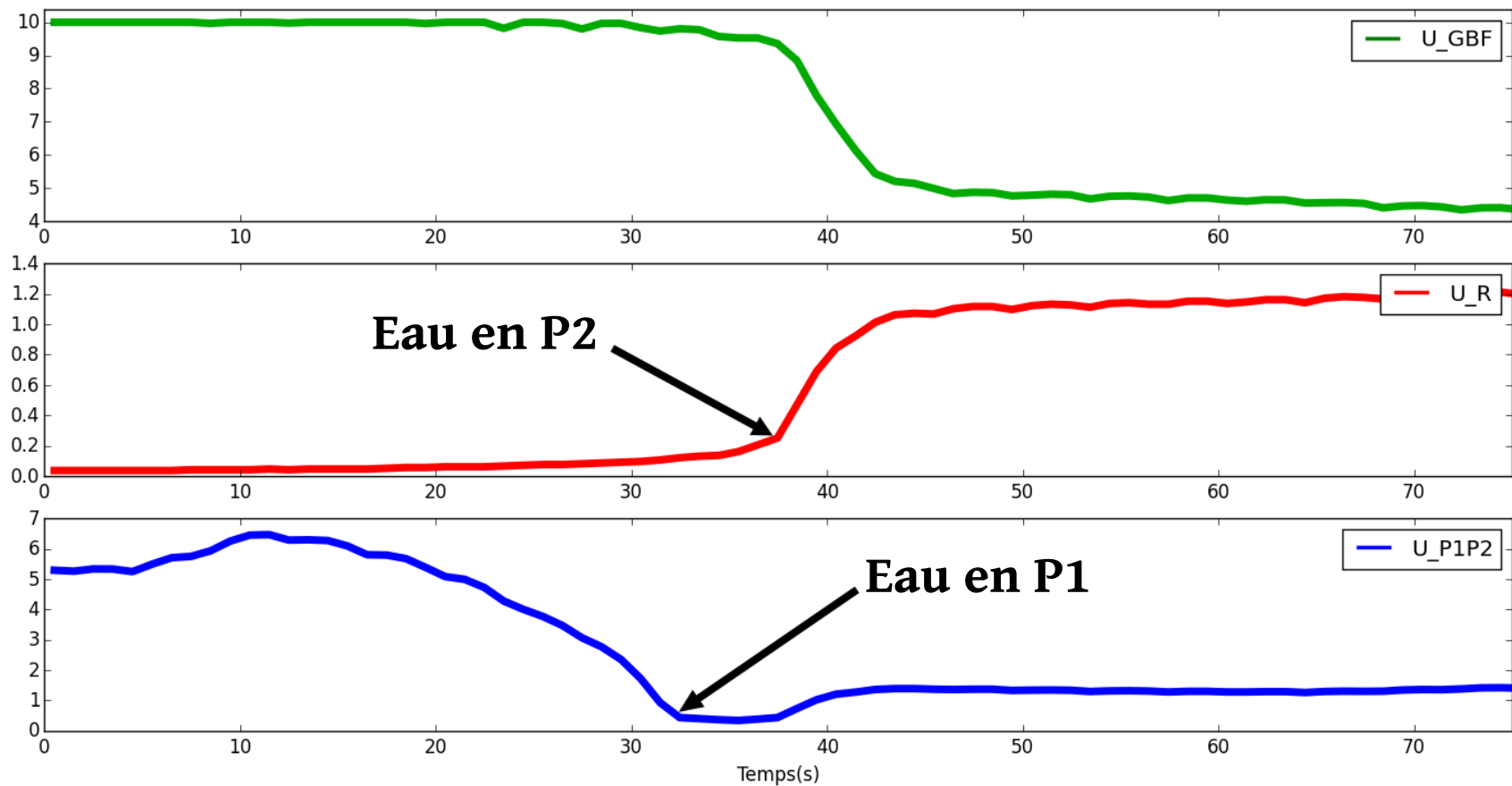
- Résultats pour le sable



$$K_{sable} = 2,8 \cdot 10^{-2} \pm 2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s} \in [2,8 \cdot 10^{-2} \pm 5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}]$$

Expériences

- Résultats pour la terre



$$K_{\text{terre}} = 1,6 \cdot 10^{-2} \pm 2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s} \in [1,6 \cdot 10^{-2} \pm 5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}]$$

Introduction

Méthode électrique
directe

Méthode par suivi de
l'infiltration de l'eau

Conclusion

Conclusion

Annexes

DIAPO 3

- Expression de la résistivité d'un cylindre conducteur

$$U = \int_2^1 dV = \int_{x=L}^{x=0} (-E) \vec{U}_x dx \vec{U}_x = EL$$

$$i = \iint_S \vec{j} d\vec{S} = \gamma S \frac{U}{L} \quad \text{Hypothèse } \vec{j} \text{ uniforme sur } S$$

$$\Rightarrow R = \frac{U}{i} = \frac{1}{\gamma} \frac{L}{S} \Leftrightarrow \boxed{\rho = R \frac{S}{L}}$$

Annexes

DIAPO 6

- Calcul de la densité de courant avec 1 électrode

$$i = \iint_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = \iint_S j(r) \vec{U}_r dS \vec{U}_r$$

$$\Rightarrow j(r) = \frac{i}{2\pi r^2}$$

$$\Leftrightarrow \vec{E} = \frac{i}{2\pi r^2 \gamma} \vec{U}_r$$

Loi d'Ohm



Hypothèse milieu
semi-infini

Annexes

DIAPO 7

- Calcul de la densité de courant pour 2 électrodes

Théorème de superposition :

$$\vec{j}_{tot} = \vec{j}_A + \vec{j}_B = \frac{i}{(2\pi r_A^2)} \vec{U}r_A - \frac{i}{(2\pi r_B^2)} \vec{U}r_B$$

Pour M sur la ligne de courant AB :

$$\rho = \frac{1}{y}$$

$$V_A - V_B = \int_A^B dV = \int -\vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$= \int \left(\frac{-i}{2\pi y} \left(\frac{1}{(d+x)^2} + \frac{1}{(d-x)^2} \right) \vec{U}x dx \vec{U}x \right)$$

$$= \frac{i}{\pi y} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{(2d-a)} \right) \Rightarrow y = \frac{i}{\pi(V_A - V_B)} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{(2d-a)} \right)$$

Annexes

DIAPO 8

- Tension entre P1 et P2
causée par C1 :

$$(1) \quad V_{P2} - V_{P1} = \rho \frac{i}{2\pi} \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{(b+a)} \right)$$

- Tension entre P1 et P2
causée par C2 :

$$(2) \quad V_{P2} - V_{P1} = -\rho \frac{i}{2\pi} \left(\frac{1}{(b+a)} - \frac{1}{a} \right)$$

- Tension entre P1 et P2
causée par C1 et C2 :

$$(1) - (2) \quad V_{P2} - V_{P1} = \rho \frac{i}{2\pi} \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{(b+a)} - \frac{1}{(b+a)} + \frac{1}{a} \right) \Rightarrow$$

$$\rho = \pi \frac{\left(b^2 - \frac{a^2}{4} \right)}{a} \frac{U}{i}$$

Annexes

DIAPO 20

- Détermination de K

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = \frac{dV}{dt} = a^2 \frac{dz}{dt} \\ Q = K (a^2 + 4 a z) \frac{dH}{dt} \end{array} \right. \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a^2 \frac{dz}{dt} = K a (a + 4 z)$$

$$\Leftrightarrow \int_{z=z_1}^{z=z_2} \frac{a^2}{K a} \frac{dz}{(a + 4 z)} = \int_{t_1}^{t_2} dt$$

$$\Leftrightarrow K = \frac{a}{4 \Delta t} \ln \frac{(a + 4 z_2)}{(a + 4 z_1)}$$