

La foudre

Lors d'un coup de foudre, l'air est ionisé dans un canal entre le sol et le nuage orageux (voir **figure 1**).



Figure 1 Éclair lors d'un coup de foudre

Un coup de foudre est une décharge électrique caractérisée par des courants de fortes amplitudes et de courtes durées. Lors de la décharge d'un coup de foudre, on a réalisé l'enregistrement de $i(t)$ représenté sur la **figure 2**.

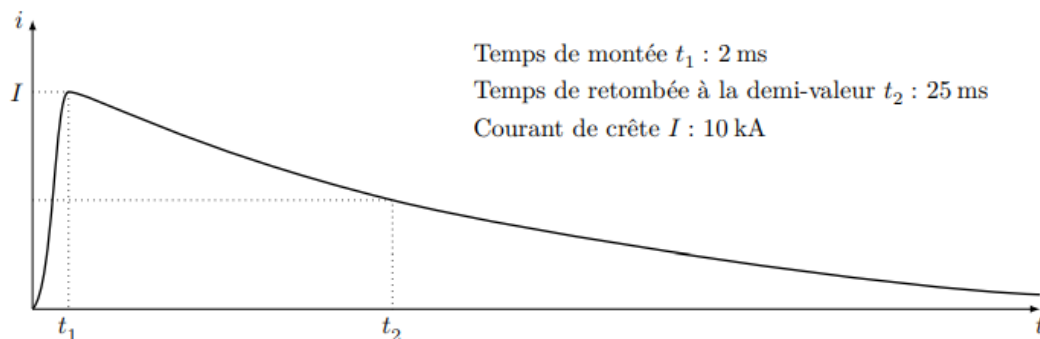


Figure 2 Enregistrement de l'intensité électrique d'un coup de foudre

On assimile par la suite la fonction $i(t)$ à une fonction affine par morceaux.

On modélise un éclair par un fil rectiligne, parcouru par un courant $i(t)$ uniformément réparti dans le fil. On se place dans l'approximation des régimes quasi-stationnaires. L'activité électrique orageuse a en général pour effet de recharger la Terre négativement.

Par temps orageux, il peut être dangereux de chercher à s'abriter près d'un arbre.

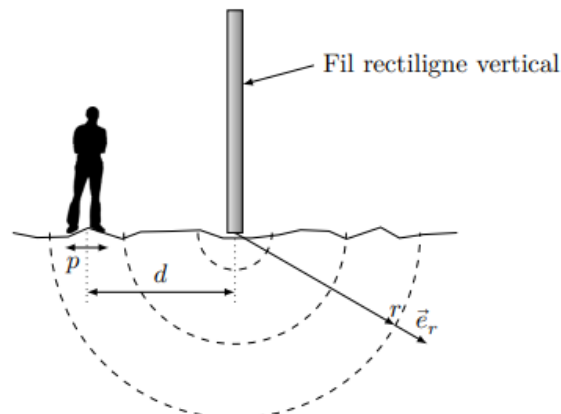


Figure 3 Modélisation de l'électrocution d'un être humain par le sol

L'éclair traversant l'arbre est modélisé par un fil rectiligne vertical qui prend fin au niveau du sol, où l'on suppose que la densité volumique de courant est radiale, de la forme $\vec{j} = j(r, t)\vec{e}_r$, expression dans laquelle \vec{e}_r est le vecteur unitaire radial des coordonnées sphériques. On note γ la conductivité électrique du sol.

1. Déterminer l'expression du champ électrique $\vec{E} = E(r, t)\vec{e}_r$ dans le sol.

Un être humain se trouve à la distance moyenne d de l'arbre et la distance entre ses deux pieds est p (voir [figure 3](#)).

2. Déterminer l'expression, en fonction de p et d , des potentiels au niveau des pieds de l'être humain. En déduire l'expression de la différence de potentiel entre les pieds U_p , ou « tension de pas ».

On a $i = j(2\pi r^2) = 2\gamma\pi r^2/E$ et donc:

$$E = \frac{i}{2\gamma\pi r^2}$$

La circulation de ce champ entre les pieds de l'expérimentateur donne :

$$U_p = \frac{i}{2\gamma\pi} \left(\frac{1}{d - \frac{p}{2}} - \frac{1}{d + \frac{p}{2}} \right) = \frac{i}{2\gamma\pi} \left(\frac{p}{d^2 - \frac{p^2}{4}} \right)$$

La distance entre les pieds de l'être humain sera considérée égale à $p = 50$ cm et sa distance à l'arbre $d = 1$ m. La conductivité électrique du sol sera prise égale à $\gamma = 1,5 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$.

Étude informatique Compléter le programme Python joint pour représenter la tension $U_p(t)$ entre les pieds de l'être humain.

In [5]:

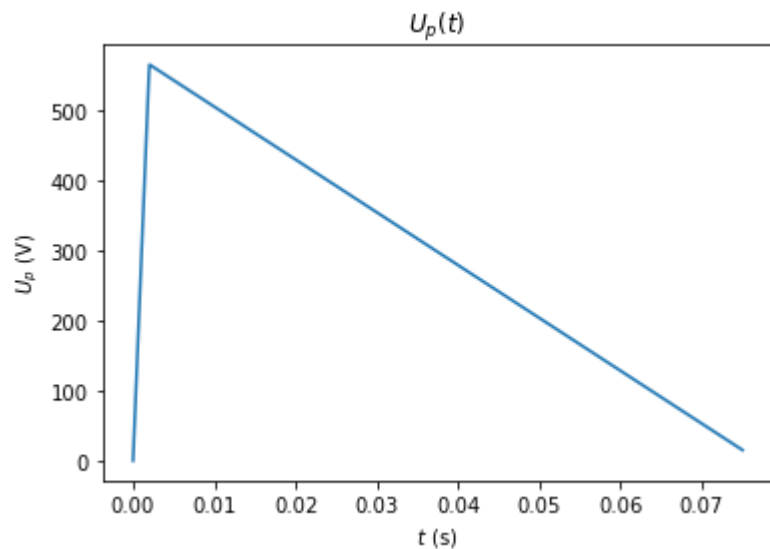
```
1 import numpy as np
2
3 import matplotlib.pyplot as plt
4
5
6 # Paramètres du modèle
7 gamma=1.5
8 p=0.5
9 d=1
10 t1=2e-3
11 t2=25e-3
12 Imax=10e3
13 mu0=4*sp.pi*1e-7
14 a=5e-2
15 b=10e-2
16
17 # Paramètres de la représentation graphique
18 N=10**3 # Nombre de points de la représentation graphique
19
20 # Définition de i(t) en l'assimilant à une fonction affine par morceaux
21 def i(t):
22     if t<=t1:
23         return(Imax/t1*t)
24     else:
25         return(-Imax/(3*t2)*(t-t1)+Imax)
26
27 # Liste des valeurs de i en fonction de t
28 def liste_valeurs_i(liste_t,i):
29     liste_i=[]
30     for t in liste_t:
31         liste_i.append(i(t))
32     return(liste_i)
```

In [6]:

```

1  def liste_valeurs_Up(liste_i):
2      liste_Up=[]
3      K=(p/(2*gamma*np.pi))/(d**2-p**2/4)
4      for i in liste_i:
5          liste_Up.append(K*i)
6      return(liste_Up)
7  # Listes des valeurs des grandeurs
8  liste_t=np.linspace(0,3*t2,N)
9  liste_i=liste_valeurs_i(liste_t,i)
10 liste_Up=liste_valeurs_Up(liste_i)
11
12 # Première représentation graphique
13
14 plt.plot(liste_t,liste_Up)
15 plt.xlabel('$t \ \mathrm{(s)}$')
16 plt.ylabel('$U_p \ \mathrm{(V)}$')
17 plt.title('$U_p(t)$')
18 plt.show()
19

```



1

LE RISQUE DE CHOC ÉLECTRIQUE

Les effets du courant électrique sur le corps humain dépendent de deux facteurs :

- le temps de passage du courant à travers le corps
- l'intensité du courant et sa fréquence.

Ces deux facteurs sont indépendants l'un de l'autre mais le niveau du risque sera plus ou moins élevé, en fonction de la valeur de chaque facteur. L'intensité du courant dangereux pour l'être humain va dépendre de la tension et de la tolérance du corps humain. Dans la pratique, on définit l'intensité du courant à partir d'une tension limite U_L généralement prise égale à 50 V. Cette tension tient compte du courant maximum que peut supporter un être humain ayant une résistance électrique interne minimum, dans des conditions déterminées. Elle tient également compte de la durée maximale admissible du temps de passage du courant à travers le corps, sans effets physiopathologiques dangereux (fibrillation cardiaque).

1

Aspect physiologique

Lorsqu'il est soumis à une tension, le corps humain réagit comme un récepteur classique ayant une résistance interne donnée.

Il est parcouru par un courant électrique avec trois risques graves :

- la tétanisation : le courant maintient contractés les muscles traversés, s'il s'agit de la cage thoracique, cela peut entraîner un blocage respiratoire
- la fibrillation ventriculaire : c'est une désorganisation complète du rythme cardiaque

- les effets thermiques provoquant des lésions tissulaires plus ou moins graves, voire des brûlures profondes dans le cas de courants plus importants.

Le tableau ci-dessous montre que, pour une tension de contact de 230 V, un courant de 153 mA traversera le corps humain. Ce courant devra alors être coupé en moins de 0,17 seconde pour éviter tout risque.

Relation temps de passage maximal/tensions de contact en conditions de contact normales (U_L : 50 V)			
Tension de contact U_c (V)	Impédance électrique du corps humain Z_n (Ω)	Courant passant par le corps humain I_n (mA)	Temps de passage maximal t_n (s)
50	1 725	29	≥ 5
75	1 625	46	0,60
100	1 600	62	0,40
150	1 550	97	0,28
230	1 500	153	0,17
300	1 480	203	0,12
400	1 450	276	0,07
500	1 430	350	0,04

3. Après étude du document en annexe, déterminer si l'être humain est en danger. Commenter le modèle.

La simulation aboutit à un temps d'exposition inférieur 0.07s d'un voltage de 400V : nous sommes en dessous des conditions dangereuses.

In []:

1	
---	--