

**TEST POUR LE FINANCEMENT DE LA PREPARATION
AU CONCOURS INTERNE D'ELEVE INGENIEUR À L'EIVP**

RENTREE SEPTEMBRE 2025

Lundi 26 Mai 2025

Épreuve de Physique

Durée de l'épreuve : **3h00**

Épreuve notée sur 20

**Vous ne devrez composer que sur les copies spécialement fournies.
Du papier brouillon est à votre disposition. Son usage vous est
personnel. Aucun brouillon ne pourra être remis en fin d'épreuve en
lieu et place d'une copie.**

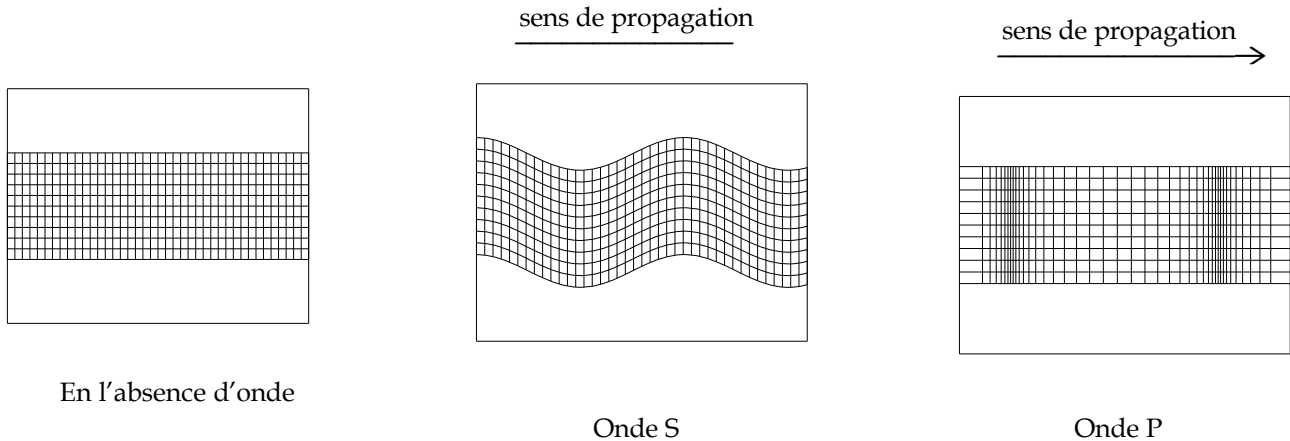
- **Ce devoir est composé de 3 exercices indépendants. Ils peuvent être traités dans un ordre quelconque.**
- **Changer de page au début de chaque exercice.**
- **Penser à numéroté les copies.**
- **L'argumentation des réponses devra être précise, concise et rigoureuse.**
- **Toute application numérique non suivie d'une unité correcte sera comptée fausse.**
- **Les résultats littéraux demandés par l'énoncé seront encadrés et les applications numériques soulignées.**

I Ondes sismiques

I.1 Detection de l'épicentre et date du séisme

Dans tout cet exercice, les distances seront considérées comme petites devant le rayon de la Terre : on peut alors considérer que la Terre est plane. On distingue deux types d'ondes sismiques : les ondes P qui se propagent à la célérité c_P et les ondes S qui se propagent à la célérité $c_S < c_P$. Après un séisme, les ondes P atteignent une station sismographique à l'instant t_P et les ondes S , à l'instant t_S . Pour simplifier, on supposera que ces ondes se propagent à la surface de la Terre.

On cherche à en déduire la distance D de la station à l'épicentre (le foyer du séisme sur la surface de la Terre) et la date t_0 du séisme. Les figures ci-dessous représentent l'allure d'une portion de la croûte terrestre pour ces deux types d'ondes.



1. Caractériser le plus précisément possible les ondes de type P et les ondes de type S . Justifier.
2. Préciser quelles sont les ondes détectées les premières. Justifier.
3. Donner une relation qui relie t_P , t_0 , D et c_P .
4. Donner une relation qui relie t_S , t_0 , D et c_S .
5. En déduire que l'expression de la date du séisme s'écrit $t_0 = \frac{c_P t_P - c_S t_S}{c_P - c_S}$

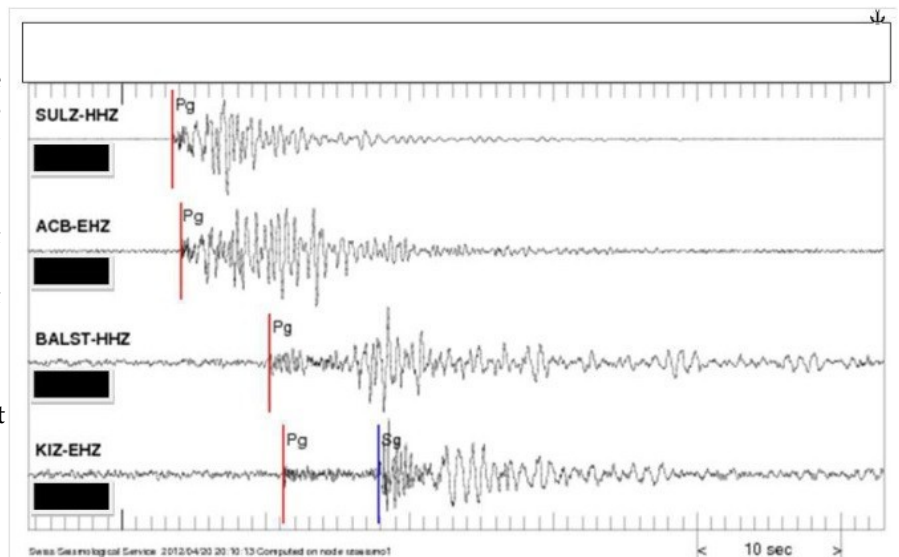
et la distance D de la station à l'épicentre $D = c_P c_S \times \frac{t_S - t_P}{c_P - c_S}$.

I.2 Localisation par triangulation

Le 19 avril 2012 vers 9h45 du matin, le réseau suisse de surveillance des séismes a enregistré un évènement de magnitude 1,9 sur l'échelle de Richter. Les sismo-grammes suivants ont été relevés par 4 stations (voir ci-contre).

Le dernier sismogramme est particulièrement intéressant car il y figure les ondes P et les ondes S . Ces ondes ne se propagent en effet pas à la même vitesse mais elles sont émises au même instant.

Ces 2 vitesses sont variables mais elles obéissent à la relation : $\frac{1}{c_S} - \frac{1}{c_P} = \frac{c_P - c_S}{c_P c_S} = \frac{1}{8}$;
les vitesses sont exprimées en km.s^{-1} .



On se propose de déterminer la position de l'épicentre du séisme. Une carte de la région suisse se trouve en 1 en annexe.

- Station KIZ (Kirchzarten près de Fribourg en Brisgau située à 47.9 N, 7.92 E, 440 m)
- Station BALST (47.3 N , 7.7 E , 910 m Balsthal).
- Station ACB (47.6 N, 8.3 E)

La méthode repose sur le principe de triangulation. En connaissant la distance de chaque station à l'épicentre, on peut localiser approximativement l'épicentre du séisme. Pour connaître la distance de chaque station à l'épicentre, on exploitera judicieusement les sismogrammes en déterminant les retards de propagations.

6. Exploiter le sismogramme de la station KIZ pour déterminer le retard entre la réception des ondes P et S.
7. A l'aide de la relation trouvée à question 5 pour la distance D parcourue entre l'épicentre, déduire la valeur de D_K entre l'épicentre et la station KIZ.
8. A partir de la différence des dates d'arrivées des ondes P sur les stations KIZ et BALST déduire la distance D_B entre l'épicentre et la station BALST. On prendra pour vitesse des ondes P, $c_P = 6,1 \text{ km.s}^{-1}$.
9. Faire de même pour la station ACB
10. Dessiner, sur l'annexe fournie, le lieu géométrique des points possibles de l'épicentre pour chacune des stations. Conclure.

I.3 Différence de marche & vibration dans 2 stations

Dans la suite de cet exercice, on ne s'intéresse qu'aux ondes S. On suppose que cette onde se déplace dans le sens des x croissants et que l'on peut la modéliser par une onde plane progressive sinusoïdale de fréquences f_S et d'amplitude A_S .

On considère 2 stations D_1 et D_2 qui sont alignées avec l'épicentre du séisme (on note cet axe x). On appelle d_1 et d_2 les distances sur l'axe x entre chacune de ces stations et l'épicentre. On notera λ_S la longueur d'onde de l'onde S. On donne les valeurs numériques suivantes : $c_S = 3,5 \text{ km.s}^{-1}$, $\lambda_S = 2,0 \cdot 10^3 \text{ m}$, $d_1 = 9,0 \text{ km}$ et $d_2 = 4,0 \text{ km}$.

11. Quelle relation mathématique doit vérifier d_1 , d_2 et λ_S pour que les signaux captés respectivement en D_1 et D_2 soient en opposition de phase ?
12. Faire l'application numérique et conclure si les signaux observés en D_1 et D_2 S sont en phase ou en opposition de phase ?
13. Calculer la fréquence f_S de l'onde S. Commenter.
14. Les ondes sismiques S rencontrent une faille de largeur $a = 1,0 \text{ km}$. Quel phénomène physique est susceptible de se produire à la traversée de cette faille ? Justifier et indiquer les conséquences.

I.4 Etude énergétique

Lors d'un séisme, l'énergie mécanique libérée lors de la rupture des roches peut se transformer en différentes formes d'énergie, notamment en chaleur. Supposons qu'une partie de cette énergie mécanique, estimée à $5,0 \text{ MJ}$, soit convertie en chaleur lors de la compression rapide des roches, ce qui entraîne une augmentation de température de $2,0^\circ\text{C}$ pour une masse de 10 kg de roche, avec une capacité calorifique massique de $c = 800 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

15. Calculer l'énergie thermique cédée à la roche lors de cette augmentation de température.
16. En comparant cette énergie thermique à l'énergie mécanique initiale, discutez de l'efficacité de la transformation d'énergie lors de cet événement sismique.
17. Si toute l'énergie mécanique libérée lors du séisme était convertie en chaleur, estimer la température finale de la roche, en supposant qu'elle a une capacité calorifique constante ?

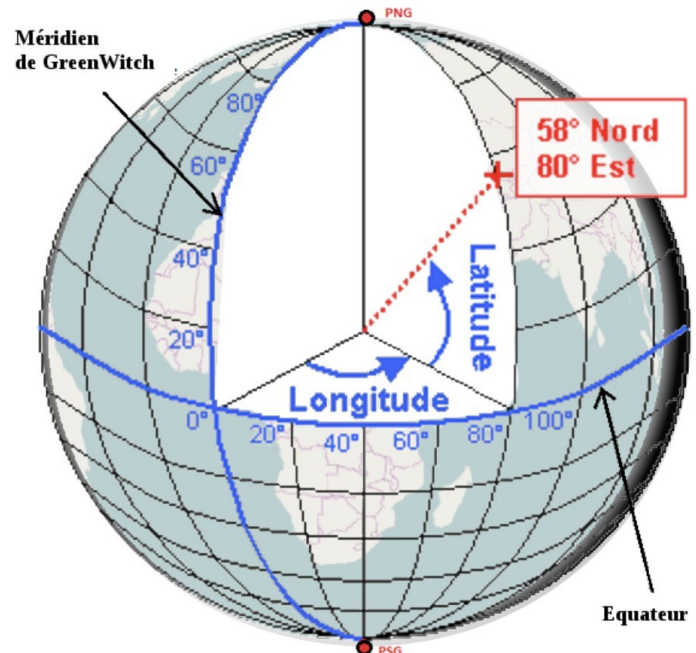
II Programme Apollo et orbite lunaire

Lors de sa 11^{ème} mission, le programme Apollo permit à l'humanité de faire ses premiers pas sur la Lune le 21 juillet 1969. La fusée, lancée de Cap Canaveral en Floride, présente 2 phases à son mouvement :

- **Phase 1** : D'abord un lancement de la surface de la Terre pour une mise en orbite circulaire basse autour de la Terre.
- **Phase 2** : Elle est ensuite placée sur une orbite elliptique de transfert pour rejoindre **finally** une orbite circulaire autour de la Lune, la mission durant environ une semaine.

Données utiles :

- Masse de la fusée : $m = 6,0$ tonnes
- Masse de la Terre : $M_T = 6,0 \cdot 10^{24}$ kg
- Masse de la Lune : $M_L = 7,4 \cdot 10^{22}$ kg
- Rayon de la Terre : $R_T = 6400$ km
- Rayon de la Lune : $R_L = 1740$ km
- Constante de gravitation : $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ USI
- Latitude de Baïkonour (Kazakhstan) : $\lambda_1 = 46,0^\circ$
- Latitude de Cap Canaveral (USA) : $\lambda_2 = 28,5^\circ$
- Latitude de Kourou (Guyane Française) : $\lambda_3 = 5,2^\circ$



II.1 Phase 1 : condition de lancement optimal pour atteindre l'orbite basse

On étudie le mouvement du lancement de la fusée, de masse m , à partir d'un point P de la **surface de la Terre** vers la Lune. Pour lancer un satellite, il faut lui communiquer (**fournir**) l'énergie mécanique $\Delta E_m = E_{mf} - E_{m0}$ où E_{m0} est l'énergie qu'il a au point P et E_{mf} est son énergie mécanique finale sur l'orbite où on souhaite le positionner.

La rotation propre de la Terre est le mouvement de la Terre autour de son axe, responsable de l'alternance jour/nuit et des mouvements apparents des étoiles. La rotation de la Terre autour du Soleil est le mouvement de la Terre sur son orbite, responsable des saisons et des variations de la position du Soleil au cours de l'année. La Terre peut-être assimilée à un solide en rotation autour d'un axe fixe Nord-Sud à une vitesse angulaire Ω .

1. On note Ω la vitesse angulaire de rotation propre de la Terre, on suppose Ω constante. En déduire une relation simple entre Ω et T la période de rotation propre de la Terre. Faire l'application numérique.
2. La distance du point P de latitude λ à l'axe de rotation de la Terre vaut $R_T \cos \lambda$. Sa vitesse vaut alors $v_p = \Omega R_T \cos \lambda$. Calculer alors l'expression de l'énergie cinétique initiale E_{c0} de la fusée au point P . Faire l'application numérique.
3. Lorsque le satellite est à la surface de la Terre, son énergie potentielle vaut $E_{p0} = -\frac{GM_T m}{R_T}$.
Exprimer alors l'énergie mécanique initiale E_{m0} du satellite posé au sol au point P .
4. En déduire les conditions les plus favorables pour le lancement du satellite. Parmi les trois champs de tir Baïkonour au Kazakhstan, Cap Canaveral aux USA et Kourou en Guyane Française, lequel est le plus adapté ? Justifier.

II.2 Phase 2 : Orbite Lunaire

On s'intéresse ici au mouvement de la fusée, assimilée à un point matériel M de masse m , en orbite **circulaire** autour de la Lune (corps céleste supposé sphérique) de centre O , de rayon R_L et de masse M_L , on note $r = OM$ le rayon de l'orbite circulaire.

Afin d'étudier le mouvement de la fusée, on utilisera la base mobile de Frenet $(\vec{t}, \vec{n})$ de centre O .

5. Réaliser un schéma de la situation et rappeler l'expression du vecteur accélération $\vec{a}$ dans la base de Frenet.
6. Rappeler la force gravitationnelle $\vec{F}_{\text{grav}}$ s'appliquant sur la fusée et l'exprimer en fonction des données de l'énoncé.
7. A l'aide du principe fondamental de la dynamique (2^{ème} loi de Newton), montrer que le mouvement est uniforme.
8. En déduire l'expression de la vitesse v en fonction de G , M_L et r .
9. Donner l'expression de la période T en fonction du rayon r et de la vitesse v , et en déduire la loi de Kepler : $T^2 = \frac{4\pi^2}{GM_L} r^3$.
10. Lors de la mission Apollo 11, le vaisseau est placé en orbite basse, d'altitude $h = 110$ km au dessus de la surface de la Lune. Calculer la période T de l'orbite et la vitesse v du vaisseau sur cette orbite.

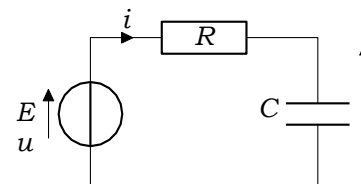
III Utilisation de condensateurs pour stocker de l'énergie

Le condensateur est aujourd'hui une brique fondamentale des circuits électroniques de commande ou de puissance. Dans ce problème, nous nous focaliserons sur leur utilisation comme dispositifs de stockage de l'énergie ainsi que sur la problématique de leur recharge.

III.1 Charge de condensateur

1. Rappeler la relation entre l'intensité traversant un condensateur de capacité C et la tension à ses bornes, puis donner l'expression de l'énergie E_{elec} qu'il stocke lorsqu'une tension u règne à ses bornes. À quel dipôle est-il équivalent en régime stationnaire ?

On considère un condensateur idéal de capacité C placé dans le circuit ci-contre contenant un générateur de f.e.m. E stationnaire et un résistor de résistance R . À l'instant $t = 0$, on allume le générateur, le condensateur étant alors déchargé $u(t < 0) = 0$



2. En appliquant la loi des mailles, établir l'équation différentielle vérifiée par la tension $u(t)$. On la mettra sous la forme $\frac{du}{dt} + \frac{u}{\tau} = \frac{E}{\tau}$ où le temps caractéristique τ s'exprime en fonction de R et C .

3. Quelle grandeur électrique est continue au moment de l'allumage du générateur ? En utilisant cette condition initiale, résoudre l'équation précédente afin de montrer que $u(t) = E(1 - e^{-t/\tau})$.
4. Quelle est la valeur maximale possible U_{max} de la tension ? Exprimer, en fonction de τ , la durée Δt nécessaire pour considérer que le régime permanent est atteint à 5% près. (un calcul mathématique de justification est attendu)
5. Déterminer l'expression de l'intensité $i(t)$ du courant circulant dans le circuit. Cette grandeur est-elle continue à $t = 0$? Déterminer l'expression, en fonction de E et R , de la valeur maximale I_{max} du courant.
6. Tracer l'allure de $u(t)$ et de $i(t)$ en faisant apparaître, sur chaque courbe, l'asymptote, le temps caractéristique et la tangente initiale.

III.2 Supercondensateur

Un "supercondensateur" est un condensateur de technique particulière, qui permet d'obtenir une capacité élevée pour un encombrement réduit, et donc une densité de puissance et une densité d'énergie intermédiaires entre les batteries et les condensateurs électrolytiques classiques. Ils sont utilisés dans des domaines variés, dont la propulsion de bateaux, de bus ou de tramway. Leur faible résistance interne permet des courants élevés, des charges rapides et des puissances importantes.

Document – Alstom et la RATP testent les supercondensateurs

En 2009, la RATP et Alstom ont expérimenté en service commercial un tramway Citadis équipé de supercondensateurs sur la ligne T3 du réseau francilien. La rame a été équipée de 48 modules de supercondensateurs (15 kg pièce) pour le stockage de l'énergie à bord. L'ensemble est équivalent à 48 supercondensateurs montés en dérivation sous une tension de 750 V. Ceci permet aux trams de circuler en autonomie sur les sections dépourvues de ligne aérienne de contact. En autonomie la rame peut parcourir 400 m, soit la distance entre deux stations sur la ligne T3, avec une vitesse moyenne d'environ 15 km/h. Les moteurs développent une puissance moyenne continue de 500 kW, et sont alimentés sous une tension de 750 V. Présentant une résistance interne très faible, les supercondensateurs autorisent le passage d'intensités très importantes pendant les 20 secondes que dure un rechargement en station, et sont donc en cela plus adaptés que les batteries conventionnelles.



Tramway de la ligne T3, ici sur une section avec ligne aérienne de contact.

À l'aide des données du document ci-dessus et d'approximations nécessaires, déterminer successivement les valeurs :

7. De la durée Δt du trajet en autonomie entre deux stations successives et de l'énergie E_{traj} nécessaire au trajet entre ces deux stations.
8. De l'énergie E_{cond} à stocker dans chacun des 48 condensateurs et de leur capacité C correspondante.
9. De la résistance électrique R du circuit de charge, en présentant les hypothèses retenues.

ANNEXE

NOM & Prénom :

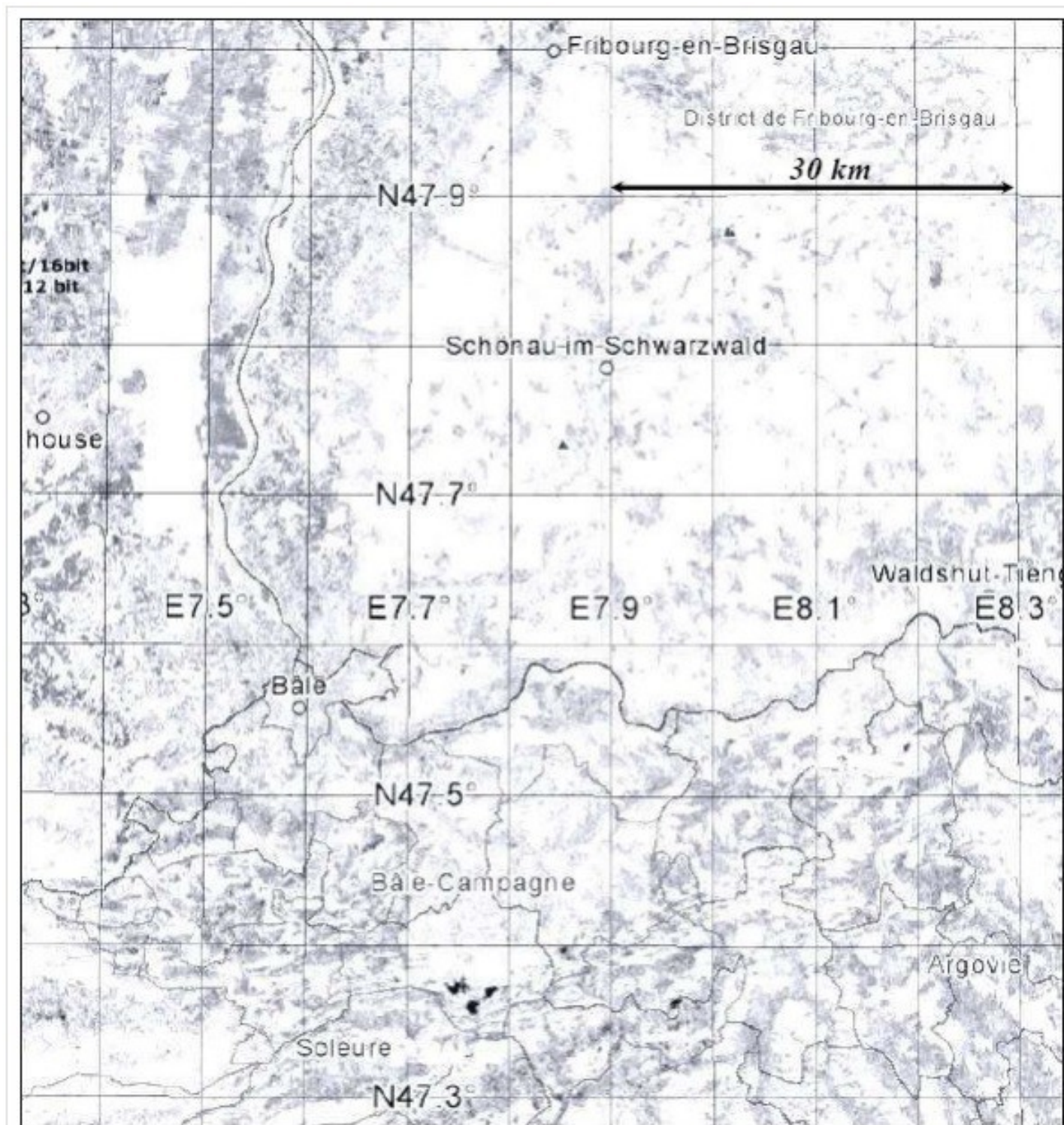


Figure 1: Carte des stations d'enregistrement des seismes