

# Relations entra la répartition des densités de la croûte terrestre et les valeurs de la pesanteur

Autor(en): **Mercier, André**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Archives des sciences physiques et naturelles**

Band (Jahr): **16 (1934)**

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-741454>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Relations entre la répartition des densités de la croûte terrestre et les valeurs de la pesanteur

PAR

**André MERCIER**

(Avec 3 fig.)

---

## SOMMAIRE.

Il doit y avoir une relation étroite entre les formations géologiques et les valeurs de la pesanteur. Nous proposons d'admettre que les continents sont des blocs de sial en équilibre hydrostatique dans le sima. En dessous des chaînes de montagnes doivent se trouver des protubérances de sial plongeant dans le sima, ce qui représente un défaut de masse sous les chaînes en question, et crée une anomalie négative dans la valeur de la pesanteur à l'endroit de ces chaînes. Un calcul rapide fondé sur cette hypothèse fournit des valeurs pour les anomalies en Suisse, comprises dans les limites des résultats expérimentaux.

\* \* \*

1. — On a calculé, selon la méthode de Hayford, les corrections isostatiques de la pesanteur observée en Suisse<sup>1</sup>. Ces calculs ne donnent pas un résultat satisfaisant. On s'en persuadera en se rapportant à la figure 1, où l'on a porté en dessous des profils géographiques les corrections topographiques et isostatiques indiquées par MM. Niethammer et Lalive. Les courbes des corrections isostatiques sont à peine mieux redressées que celles des corrections topographiques.

<sup>1</sup> *Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz*, Bd. X à XVI.

Nous ferons l'hypothèse suivante: les continents sont assimilés à des blocs de sial immergés dans le sima. La présence d'une montagne est compensée en profondeur par un défaut de masse dû à la protubérance de sial qui doit exister en dessous

### Anomalies de la pesanteur dans les Alpes

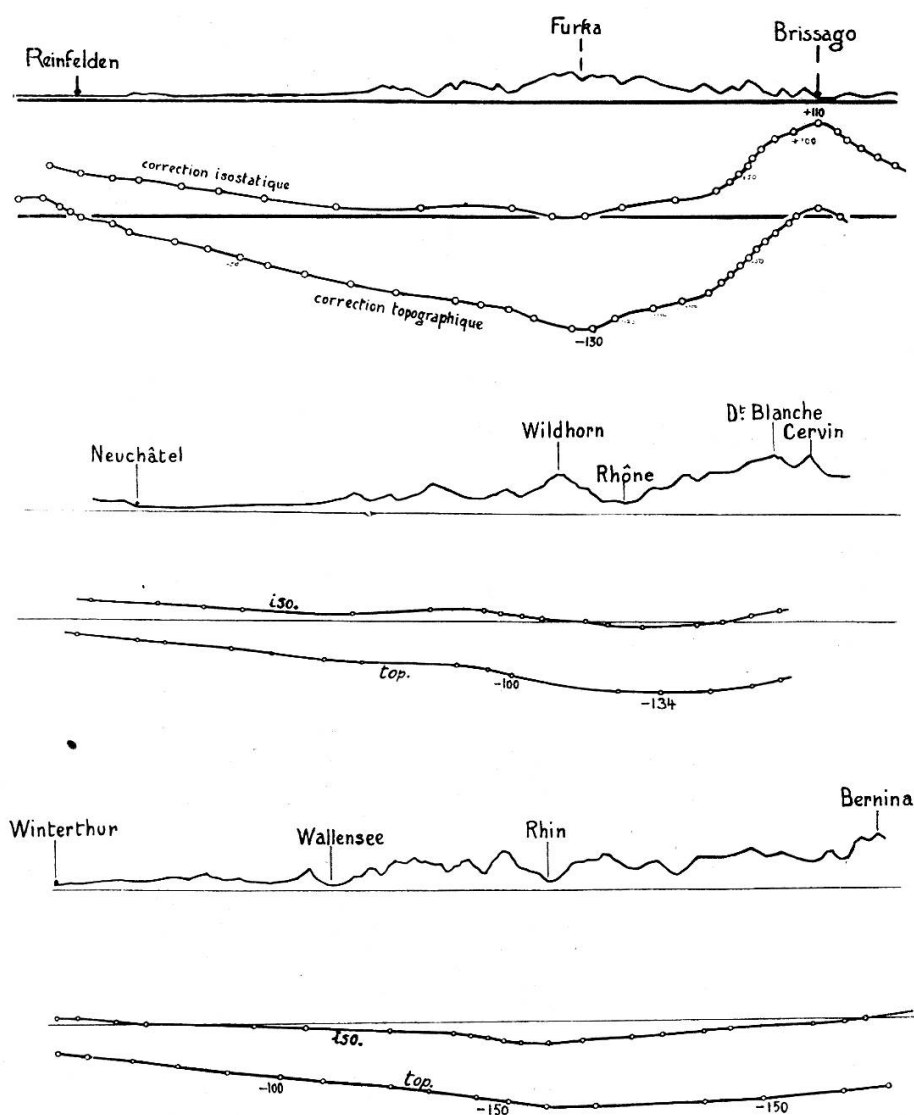


Fig. 1.

de cette montagne afin de maintenir en équilibre hydrostatique des colonnes verticales que l'on peut imaginer coupées dans le bloc continental. Les résidus subsistant après les corrections

topographiques nous renseignent assez bien sur le défaut de masse sous-jacent.

L'équilibre hydrostatique n'est vraisemblablement jamais atteint parfaitement par les continents, car ceux-ci sont constamment aplanis par l'érosion, et les portions ainsi abrasées sont soumises à un redressement, un mouvement vers le haut dû à la poussée qu'exerce le sima. Le calcul des résidus topographiques donne donc un renseignement plus complexe que la simple notion des défauts de masse, il indique l'effet du défaut de masse dû à la protubérance combiné avec celui du volume qu'elle doit encore balayer pour être en équilibre hydrostatique dans le sima.

Les valeurs des anomalies de la pesanteur, restant après la correction topographique, sont plus petites qu'une unité C.G.S. ( $1 \text{ cm-sec}^{-2}$ ), et représentent des erreurs relatives de 1 pour 10.000. Si l'on songe à la grossièreté des méthodes que l'on utilise pour évaluer les anomalies à partir d'une hypothèse sur la répartition des densités de la croûte terrestre, il n'est pas étonnant que l'on trouve des anomalies théoriques différant éventuellement de 100% des valeurs observées. Aussi ne faut-il pas attribuer, aux valeurs numériques que nous donnerons, plus de signification qu'elles n'en méritent; nous nous bornerons à des ordres de grandeur.

2. — Rappelons que M. Jeffreys <sup>1</sup>, en assimilant les continents à des membranes pliées sous le poids des montagnes, en attribuant à ces membranes une épaisseur de 30 à 50 km, une densité moyenne de 2,4, et au sima une densité de 3,4, indique que l'on peut, par un calcul convenable, se rendre compte si les continents sont capables de se maintenir entiers sous ces actions de déformation. Il conclut que cet état de choses est impossible, et qu'une chaîne de montagnes de 700 m d'altitude suffirait pour disloquer les continents. Bien que le choix de ces densités ne nous semble pas très heureux, il serait impossible, en prenant des valeurs différant de 2,4 et 3,4, d'expliquer l'épaisseur considérable qu'ont eue les nappes alpines et les

<sup>1</sup> H. JEFFREYS, *The Earth* (Camb. Univ. Press, 2nd. ed., p. 199).

chaînes de formation antérieure. Les continents agissent comme des membranes peu flexibles, et l'on peut s'expliquer que l'apport de matériaux sédimentaires sur ces membranes les aient disloquées parce qu'elles n'étaient pas assez flexibles. Nous négligerons les dislocations.

3. — Imaginons que des colonnes très minces de sial, juxtaposées et verticales, puissent glisser les unes contre les autres sans pour cela se séparer. Nous leur appliquerons les lois de l'équilibre hydrostatique.

Soit  $\delta$  la densité de l'eau de mer,  $\rho_1$  celle du sial,  $\rho_2$  celle du sima,  $h$  l'altitude, comptée à partir du niveau de la mer, d'un point P situé à la surface d'un continent,  $x$  la profondeur moyenne des mers,  $(x + X)$  la profondeur du contact sial-sima, sous le point P. On doit avoir:

$$(h + x + X)\rho_1 = x\delta + X\rho_2 .$$

On en déduit la valeur de la profondeur du continent en cet endroit:

$$H = h \frac{\rho_1}{\rho_2 - \rho_1} + x \left\{ \frac{\rho_2}{\rho_2 - \rho_1} \left( 1 - \frac{\delta}{\rho_1} \right) + \frac{\delta}{\rho_1} \right\} ,$$

que l'on peut mettre sous la forme:

$$H = \mu h + \nu .$$

Soit  $\Delta S$  la surface des terrains continentaux dont les altitudes sont comprises entre  $h$  et  $h + \Delta h$ . Il est possible de dessiner la courbe donnant la valeur de cette surface pour chaque altitude (Courbe des fréquences d'altitude de Wegener<sup>1</sup>). Appelons  $S = \Sigma \Delta S$  la surface totale des continents et soit  $s(h)$  la fonction qui représente la dite courbe. Nous définirons la valeur moyenne  $f$  de l'altitude comme étant le rapport entre le volume

<sup>1</sup> A. WEGENER, *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* (4. Aufl. Braunschweig, 1929, p. 35-36).

du matériel continental situé au-dessus du niveau de la mer, et la surface S. Cette définition se ramène à la relation:

$$f = \frac{1}{S} \int_0^{h_m} s(h) dh ,$$

$h$  pouvant varier de zéro (bord de mer) à une altitude maximum  $h_m$  (Mont Everest). On peut former à partir de  $s(h)$  une fonction  $\sigma = \sigma(H)$ , de manière que  $\sigma(H) = s(h)$  lorsque  $H = \mu h + \nu$ . Et l'on définira la valeur moyenne F de H par la relation:

$$F = \frac{1}{S} \int_{\nu}^{\mu h_m + \nu} \sigma(H) dH + \nu .$$

Comme  $dh = \mu dH$ , si dans cette relation on passe de la variable H à  $h$ , on vérifie que:

$$F = \mu f + \nu .$$

Wegener<sup>1</sup> donne pour  $x$  et  $f$  les valeurs 4,7 km et 0,1 km. (On définirait  $x$  d'une manière analogue à celle employée pour définir  $f$ .) On peut calculer  $\mu$ ,  $\nu$  et par conséquent F pour diverses valeurs de  $\rho_1$  et  $\rho_2$  (on posera  $\delta \sim 1$ ), et construire les courbes  $F = F(\rho_1)$  pour diverses valeurs de  $\rho_2$ . Ces courbes sont données dans la figure 2. On déduit de ces courbes tous les couples de valeurs  $(\rho_1, \rho_2)$  correspondant à une valeur donnée de F. Or les mesures sismiques révèlent l'existence d'une discontinuité à une profondeur de 60 km environ<sup>2</sup>. Nous admettrons que le contact sial-sima coïncide avec ce niveau de discontinuité. On déduit alors des courbes de la figure 2 que les couples  $(\rho_1, \rho_2)$  doivent être compris dans les limites suivantes:

$\rho_1$	2,6	2,7	2,8	2,9
$\rho_2$	2,74	2,85	2,96	3,06

<sup>1</sup> A. WEGENER, *loc. cit.*, p. 35-36.

<sup>2</sup> Cf. K. WEGENER, *Physik der Erde* (Leipzig, 1934) ou *Handbuch der Experimental-Physik*, XXV, 2. Teil, p. 563.

Or les densités qui nous importent sont, pour le sial la densité moyenne, pour le sima la densité superficielle. La densité de la couche 0-60 km doit varier, d'après les données expérimentales, de 2,4 à la surface, à 3 en profondeur; celle du sima (dont l'épaisseur dépasse 1.200 km) entre 2,9 et 6,4. Nous donnons dans le tableau ci-dessus des valeurs qui chevauchent l'une

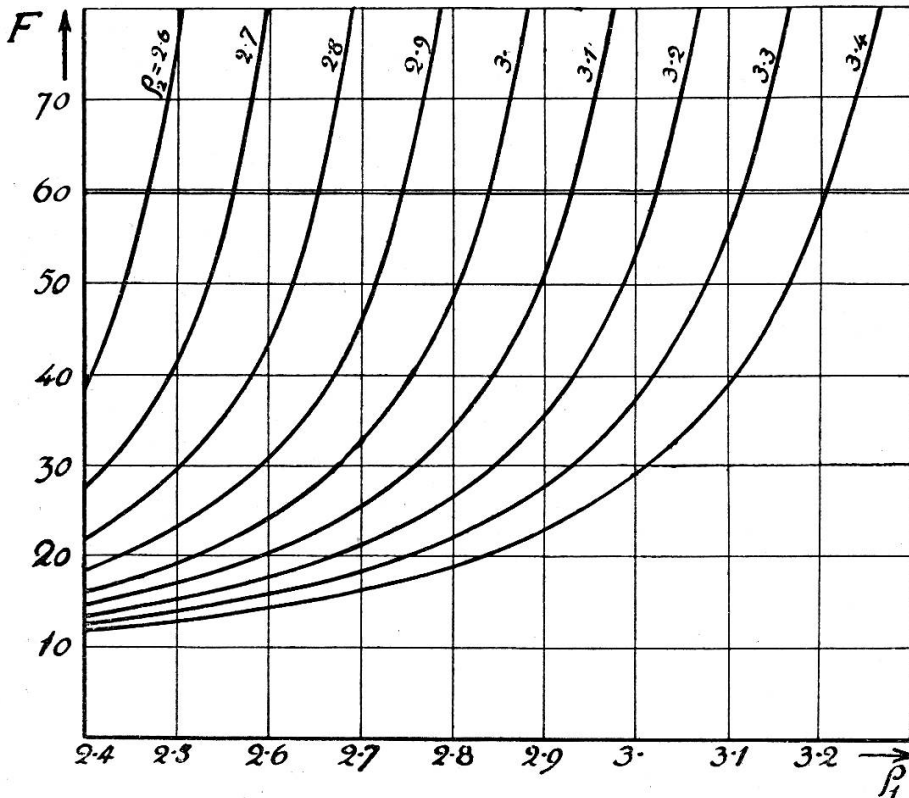


Fig. 2.

sur l'autre en raison de la grossièreté des données expérimentales. Il en résulte que la densité moyenne du sial doit être de l'ordre 2,7 à 2,8, et celle du sima superficiel, 2,9 à 3. La différence ( $\rho_2 - \rho_1$ ) doit être plus petite que 0,2, nous poserons  $\rho_2 - \rho_1 = 0,15$ . C'est cette différence qui joue le plus grand rôle dans l'évaluation des profondeurs H; elle correspond à une valeur de F égale à 59 km, soit 60 km environ.

4. — Sur la possibilité d'un rétablissement d'équilibre des blocs continentaux selon le principe hydrostatique, on peut remarquer ceci: Il est évidemment excessif de faire d'un

continent un assemblage de colonnes juxtaposées les unes aux autres. On peut l'imaginer dans un état intermédiaire entre l'assemblage des colonnes et celui de membrane du § 2. Dans cet état intermédiaire la tendance qu'ont les colonnes à suivre la loi d'Archimède n'a pas un effet immédiat, les éléments constituants du continent se libèrent peu à peu et il faut un temps très long pour que l'équilibre des colonnes soit atteint. Le mouvement ainsi schématisé n'est rien d'autre qu'un écoulement et met par conséquent en jeu la viscosité du sial. M. Dive<sup>1</sup> a montré que le sima doit avoir une faible viscosité relativement aux dimensions de la terre, et que, d'après la théorie des modèles, on pourrait la comparer à celle de l'eau si l'on ramenait la terre à des dimensions de l'ordre du mètre. En attribuant au sial une viscosité analogue ou même plus grande, sa seule existence rend l'écoulement possible, si lent soit-il.

Si, par suite du frottement interne, le réajustement hydrostatique est en retard sur l'érosion et sur toute autre cause du déséquilibre, il ne peut en résulter qu'une valeur de l'anomalie plus grande que celle correspondant à l'équilibre, ce que nous avons envisagé précédemment.

5. — Indiquons maintenant quelques résultats numériques qui donneront une idée approximative de la portée des considérations précédentes.

Définissons un état normal de la croûte où les montagnes n'existeraient pas et où les fonds marins formeraient une surface de niveau. L'altitude constante de la terre ferme coïnciderait avec l'altitude moyenne  $f$  notée par A. Wegener. La profondeur constante des mers serait la valeur  $x$  déjà mentionnée. Cet état n'est possible que si le contact sial-sima est également une surface de niveau. L'étendue des continents serait évaluée à un cinquième et celle des mers à quatre cinquièmes de la surface totale du globe. Imaginons qu'un phénomène géologique entraîne la formation d'une montagne. Sous l'effet de la surcharge, le continent s'incurve, et nous lui accor-

<sup>1</sup> *C. R. Soc. Phys. et Hist. nat. Genève*, 49, 105, 1932; supplément aux *Archives* (5), 14 (1932).



dans un temps suffisant pour atteindre l'équilibre hydrostatique défini pour les colonnes.

Soit un point  $P'$  à une certaine altitude, sur la montagne. On observe en  $P'$  une certaine valeur de la pesanteur. Supposons cette valeur ramenée à une position  $P$  située sur la verticale par  $P'$  (verticale qu'il faudrait définir pour être rigoureux), et à l'altitude zéro (bord de la mer). La correction isostatique que nous proposons consiste à évaluer la contribution à l'intensité  $g$  de la pesanteur, au point  $P$ , due à la protubérance de sial s'enfonçant vers le bas dans le sima, en attribuant à cette protubérance la densité  $(\rho_2 - \rho_1)$ , et la forme que nous avons indiquée (éventuellement une protubérance de sima vers le haut, dans le sial, si l'on a affaire à une mer épicontinentale, par exemple).

Soient alors (fig. 3)  $P$  le point d'observation,  $Q$  un point pris dans une protubérance quelconque,  $O$  le centre de la terre,

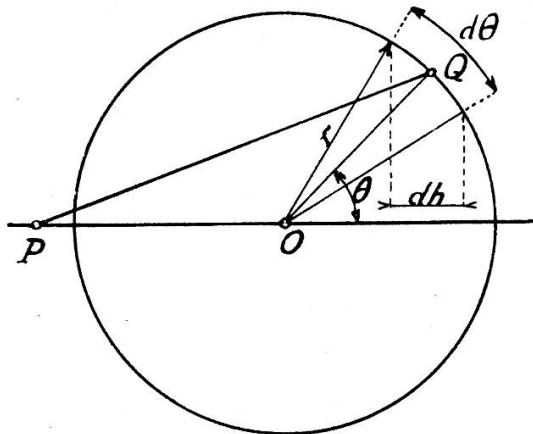


Fig. 3.

$OP = R$ ,  $OQ = r$ ,  $\theta$  l'angle entre  $OQ$  et le prolongement de  $PO$ ,  $\varphi$  l'azimuth autour de  $PO$ ,  $dh$  la hauteur d'une zone limitée entre  $\theta + \frac{d\theta}{2}$  et  $\theta - \frac{d\theta}{2}$ . Appelons  $\delta g$  l'anomalie due à la protubérance. Soit  $G$  la constante de la gravitation. La fraction de  $\delta g$  due à un petit volume entourant  $Q$  vaut :

$$d^3(\delta g) = G(\rho_2 - \rho_1) \frac{r d\varphi dh dr}{PQ^2} \cos(QPO),$$

valeur que l'on peut ramener à :

$$d^3(\delta g) = G(\rho_2 - \rho_1) \frac{2r^2 \sin \frac{\theta}{2} \cos^2 \frac{\theta}{2}}{r^2 + R^2 + 2rR \cos \theta} \left\{ 1 + \frac{R - r}{PQ} \frac{\sin^2 \frac{\theta}{2}}{\cos \frac{\theta}{2}} \right\} d\varphi d\theta dr .$$

Si l'on se contente de l'approximation :

$$PQ \sim (r + R) \cos \frac{\theta}{2} ,$$

il vient :

$$d^3(\delta g) = 2G(\rho_2 - \rho_1) \frac{r^2 \sin \frac{\theta}{2} \cos^2 \frac{\theta}{2}}{r^2 + R^2 + 2rR \cos \theta} \left\{ 1 + \frac{R - r}{R + r} \delta g^2 \frac{\theta}{2} \right\} d\varphi d\theta dr \dots \quad (1)$$

Pour un calcul approximatif, remplaçons la relation (1) par une relation simplifiée, qui intégrée, s'écrit :

$$\delta g = \int \int \int G(\rho_2 - \rho_1) \sin \frac{\theta}{2} \frac{d\theta}{2} d\varphi dr \dots \quad (2)$$

Appliquons (2) à une calotte de sial définissant un cône d'ouverture  $2\delta = 120^\circ$ , surmontée par une montagne d'altitude constante 3 km. En posant  $\rho_2 - \rho_1 = 0,15$ , on trouve à l'antipode de la calotte une anomalie de l'ordre de  $0,17 \text{ cm-sec}^{-2}$ .

Considérons, comme exemple plus proche de la réalité, une protubérance cylindrique de sial, située directement au-dessous du lieu où l'on se propose de corriger la pesanteur, et dont l'axe passe par ce lieu. L'anomalie due à ce cylindre léger est alors égale à l'intégrale (étendue au cylindre) de la nouvelle expression suivante :

$$d^2(\delta g) = 2\pi(\rho_2 - \rho_1)G \frac{z dz r dr}{(r^2 + z^2)^{3/2}} ,$$

où  $z$  est la distance verticale entre l'observateur et le point courant du cylindre, et  $r$  la distance de l'axe à ce point. Si  $z_1$  est la profondeur moyenne du sial,  $z_2$  la profondeur de la

protubérance, et  $R$  son rayon, l'anomalie est, en valeur absolue, égale à :

$$\delta g = \left| 2\pi(\rho_2 - \rho_1)G \left\{ z_2 - z_1 + \sqrt{z_1^2 + R^2} - \sqrt{z_2^2 + R^2} \right\} \right| .$$

Une évaluation rapide de la hauteur moyenne de la région des Alpes (où nous avons négligé les régions éloignées de la Suisse), faite au moyen du planimètre, nous a conduit à la valeur  $z_2 - z_1 = 18,8$  km, pour la protubérance, et permet d'assimiler la région planimétrée à un cylindre de rayon  $R = 223$  km, de sorte que l'anomalie résultante au centre de la base supérieure aurait la valeur :

$$\delta g = 0,08 \text{ cm. sec}^{-2} .$$

Cette valeur est de l'ordre de grandeur des anomalies observées.

Les valeurs numériques que nous indiquons n'ont pas une signification pratique très importante. En effet, il faut, pour être complet, tenir compte de la forme exacte des montagnes, en envisageant la surface totale du globe; tenir compte aussi de la structure géologique des terrains, au moins sous-jacents. Dans d'autres régions de la terre pour lesquelles on connaît les anomalies de la pesanteur, l'explication que nous donnons est, qualitativement au moins, confirmée.

Il nous semble que la méthode de correction de la pesanteur qui vient d'être esquissée est la seule en accord avec les théories tectoniques. Elle pourrait enfin servir à expliquer les déviations de la verticale; il suffirait pour cela de considérer les composantes horizontales au lieu des composantes verticales des défauts ou des excès d'attraction des protubérances envisagées.