

C E A - R 2809

EUR 2425 f

ASSOCIATION EURATOM - C.E.A.

NIVEAUX DE CONTAMINATION RADIOACTIVE
DU MILIEU AMBIANT ET DE LA CHAINE ALIMENTAIRE

EVALUATION EN FONCTION DE L'AGE DES INDIVIDUS
DE L'ENERGIE EFFECTIVE DELIVREE A L'UNITE DE MASSE (ϵ/m)
DES ORGANES AUTRES QUE LE TRACTUS GASTRO-INTESTINAL
PAR LES PRINCIPAUX RADIONUCLIDES SUSCEPTIBLES DE CONTAMINER
LA CHAINE ALIMENTAIRE ET LE MILIEU AMBIANT

par

Arlette GARNIER

Rapport C E A - R 2809

CENTRE D'ÉTUDES NUCLÉAIRES
DE FONTENAY-AUX-ROSES

CEA-R 2809 - GARNIER Arlette
EUR-2425 f

EVALUATION EN FONCTION DE L'AGE DES INDIVIDUS DE L'ENERGIE
EFFECTIVE DELIVREE A L'UNITE DE MASSE (ξ/m) DES ORGANES
AUTRES QUE LE TRACTUS GASTRO-INTESTINAL PAR LES PRINCIPAUX
RADIONUCLIDES SUSCEPTIBLES DE CONTAMINER LA CHAINE
ALIMENTAIRE ET LE MILIEU AMBIANT

Sommaire. - L'évaluation des doses d'irradiation interne exige la connaissance de l'énergie effective délivrée à chaque gramme de l'organe considéré, qui dépend, pour chaque radionuclide, de l'énergie physique (E) absorbée dans l'organe, de l'efficacité biologique relative (EBR), du facteur de dommage relatif (n), de la masse de l'organe (m).

Cette énergie peut être évaluée en fonction des dimensions et de la masse des organes, de la naissance à l'âge adulte. Ce travail est effectué pour les principaux radionuclides susceptibles de contaminer la chaîne alimentaire et le milieu ambiant.

1965

95 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

CEA-R 2809 - GARNIER Arlette
EUR-2425 f

EVALUATION AS A FUNCTION OF AGE OF THE EFFECTIVE ENERGY
ABSORBED IN ANY GRAM (ξ/m) OF ORGANS OTHERS THAN THE GASTRO-
INTESTINAL TRACT BY THE PRINCIPAL RADIONUCLIDES WHICH COULD
EVENTUALLY CONTAMINATE THE FOOD AND THE ENVIRONMENT

Summary. - In order to evaluate internal radiation doses it is necessary to know the effective energy dissipated in any gram of the organ of reference, which depends, for any radionuclide, on the physical energy (E) absorbed in the body organ, on the relative biological effectiveness (RBE), on the relative damage factor (n) and on the mass of the organ (m). This effective energy may be evaluated as a function of the size and of the mass of the organs, from birth to adult age. This work is done for the principal radionuclides which could eventually contaminate the food and the environment.

1965

95 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

Les rapports du COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE sont, à partir du n° 2200, en vente à la Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 16, rue Lord Byron, PARIS VIIIème.

The C.E.A. reports starting with n° 2200 are available at the Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 16, rue Lord Byron, PARIS VIIIème.

DEPARTEMENT DE LA PROTECTION SANITAIRE

EVALUATION EN FONCTION DE L'AGE DES INDIVIDUS
DE L'ENERGIE EFFECTIVE DELIVREE A L'UNITE DE MASSE (ϵ/m)
DES ORGANES AUTRES QUE LE TRACTUS GASTRO-INTESTINAL
PAR LES PRINCIPAUX RADIONUCLIDES SUSCEPTIBLES DE CONTAMINER
LA CHAINE ALIMENTAIRE ET LE MILIEU AMBIANT

par

Arlette GARNIER

Contrat Euratom n° 003-61-10 PSAF

**EVALUATION EN FONCTION DE L'AGE DES INDIVIDUS
DE L'ENERGIE EFFECTIVE DELIVREE A L'UNITE DE MASSE (ϵ/m)
DES ORGANES AUTRES QUE LE TRACTUS GASTRO-INTESTINAL
PAR LES PRINCIPAUX RADIONUCLIDES SUSCEPTIBLES DE CONTAMINER
LA CHAINE ALIMENTAIRE ET LE MILIEU AMBIANT**

INTRODUCTION

La détermination des niveaux de protection de la chaîne alimentaire repose sur les relations existantes entre la dose d'irradiation délivrée à l'organe de référence et la concentration du radionuclide considéré dans les différents aliments ingérés.

Or, le calcul des doses d'irradiation interne implique l'évaluation des énergies effectives délivrées à l'organe de référence à la suite de l'incorporation de ce radionuclide.

Le rapport du Comité II de la Commission Internationale de Protection Radiologique [1] sur la dose admissible en cas d'irradiation interne donne, pour chaque radionuclide, les valeurs des énergies effectives délivrées aux différents organes. Mais ces valeurs n'ont été établies que pour l'adulte. Pour calculer les doses délivrées aux enfants, il est nécessaire de connaître comment évolue, en fonction de l'âge des individus, l'énergie effective délivrée par unité de masse.

C'est le but du présent travail, limité toutefois aux radionuclides susceptibles de contaminer la chaîne alimentaire et le milieu ambiant [8] et aux organes de référence autres que le tractus gastro-intestinal, qui fera l'objet d'une étude particulière ultérieure.

METHODE DE TRAVAIL

On sait que les dommages causés aux tissus par la désintégration d'un radionuclide dépendent à la fois :

- de la nature (α , β , γ , ...) des rayonnements émis
- de leur énergie de désintégration E_m (MeV)
- du pourcentage f de chaque rayonnement d'énergie donnée, par rapport à l'ensemble
- de la façon dont l'énergie est dissipée dans l'organe, soit entièrement lorsqu'il s'agit de rayons β^- ou α , soit partiellement lorsqu'il s'agit de rayons γ : l'absorption dépend alors du rayon effectif de l'organe

- de la répartition hétérogène exprimée par le facteur n
- de l'efficacité biologique relative EBR
- de l'activité relative F des descendants par rapport à celle du père, dans le cas de chaînes de désintégration
- de la masse (m) de l'organe considéré. L'énergie effective par unité de masse est exprimée par

$$\frac{\xi}{m} = \frac{1}{m} \sum E F (EBR) n$$

On voit donc que deux facteurs anatomiques interviennent : la masse (m) et le rayon effectif (x) de l'organe dont dépend l'absorption des rayons γ . Connaissant l'évolution de $m(6,7)$, on peut estimer celle de x (planche 1) et, par conséquent, celle de l'énergie absorbée E exprimée en fonction de l'énergie de désintégration, par la relation $E = E_m (1 - e^{-\sigma x})$; σ , coefficient linéaire d'absorption des rayons γ , varie en fonction de l'énergie du rayonnement, et suivant la nature du tissu. Des courbes ont été établies, représentant la variation de $E_m (1 - e^{-\sigma x})$ en fonction de E , pour différentes valeurs du paramètre x , dans le cas des tissus (planche 3) et dans le cas des os (planche 4).

Les relations exprimant l'énergie absorbée en fonction de l'énergie de désintégration, pour les différentes sortes de rayonnements sont celles admises par la Commission Internationale de Protection Radiologique [1]. Certaines valeurs numériques sont extraites d'un rapport de la Commission Internationale des Unités Radiologiques [2]. Les tables d'isotopes [3] et les schémas de désintégration [4] [5] fournissent les données physiques nécessaires.

Par ailleurs, les périodes biologiques d'élimination peuvent avoir une influence sur l'activité des différents radionuclides d'une chaîne de désintégration, par rapport à l'activité du père. Toutefois, en raison des ordres de grandeur relatifs des périodes radioactives et biologiques considérées, cette influence est très souvent négligeable pour les radionuclides faisant l'objet de ce travail (exception faite pour le zirconium 95 et pour le thorium 232, par exemple).

RESULTATS

Les résultats sont présentés sous forme de courbes montrant l'évolution, en fonction de l'âge, de l'énergie effective ξ , et de l'énergie effective par gramme ξ/m , pour chaque organe de référence (planches 5 à 85).

En ce qui concerne l'adulte, la concordance entre les valeurs trouvées et celles indiquées par la CIPR est généralement satisfaisante.

L'énergie effective ξ varie assez peu avec l'âge en raison, soit de la faible énergie des rayonnements en cause, soit de leur pourcentage. La variation est au maximum de 1 à 3 entre le nouveau-né et l'adulte. Mais elle doit cependant être prise en considération et rapportée à l'unité de masse ; on constate que la variation de ξ/m , toujours très abrupte pendant la première et la deuxième années, à cause de la rapide croissance de l'organisme, est encore très importante au cours

des années suivantes.

Toutefois, ces graphiques ne sauraient à eux seuls donner une image des risques relatifs auxquels sont exposés les êtres, suivant leur âge. Il faut également tenir compte de ce que les facteurs de passage et les périodes biologiques (intervenant dans le calcul des doses) sont vraisemblablement différents suivant l'âge, du moins pour certains radionuclides. Il se peut que l'organe à considérer comme le plus critique ne soit pas toujours le même au cours de la croissance. De plus, les volumes d'air respiré et d'aliments ingérés varient beaucoup : considération évidemment primordiale en ce qui concerne les nourrissons.

CONCLUSION

Le présent travail fournit l'un des éléments du calcul des doses d'irradiation interne en fonction de l'âge, pour les principaux radionuclides intéressant la chaîne alimentaire et le milieu ambiant.

Manuscrit reçu le 27 avril 1965

BIBLIOGRAPHIE

- [1] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (I.C.R.P.)
Report of Committee II on Permissible Dose for Internal Radiation
Pergamon Press, 1959
- [2] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL UNITS AND MEASUREMENTS
(I.C.R.U.)
U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards
Handbook 62, 1956
- [3] SULLIVAN W.H.
Trilinear Chart of Nuclides
AEC (U.S.A.), January 1957
- [4] STROIMINGER D., HOLLANDER J.M., SEABORG G.T.
Table of Isotopes
Reviews of Modern Physics. April 1958, 30, 2, Part 1I
- [5] DZHELEPOV B.S., PEKER L.K.
Decay schemes of radioactive nuclei
Pergamon Press, 1961
- [6] FABRY C.
L'évolution du poids des organes du corps humain,
de la naissance à l'âge adulte, en Europe occidentale
EUR 147 f 1963
- [7] RAULIER-FABRY C., HAMMER R.
Poids de la thyroïde humaine en fonction de l'âge
CEA 2724 ; EUR 2194 F, 1965
- [8] GARNIER A.
Les radionuclides à prendre en considération pour l'étude
des niveaux de contamination de la chaîne alimentaire et
du milieu ambiant
Contrat d'Association EURATOM/C.E.A., rapport interne, fev.1962
- [9] GARNIER A.
Méthode d'évaluation des doses d'irradiation interne délivrées
aux organes autres que le T.G.I. par l'ingestion quotidienne de
1 picocurie d'un radionuclide déterminé, en fonction de l'âge
Contrat d'Association EURATOM/C.E.A., rapport interne non diffusé,
Juin 1962

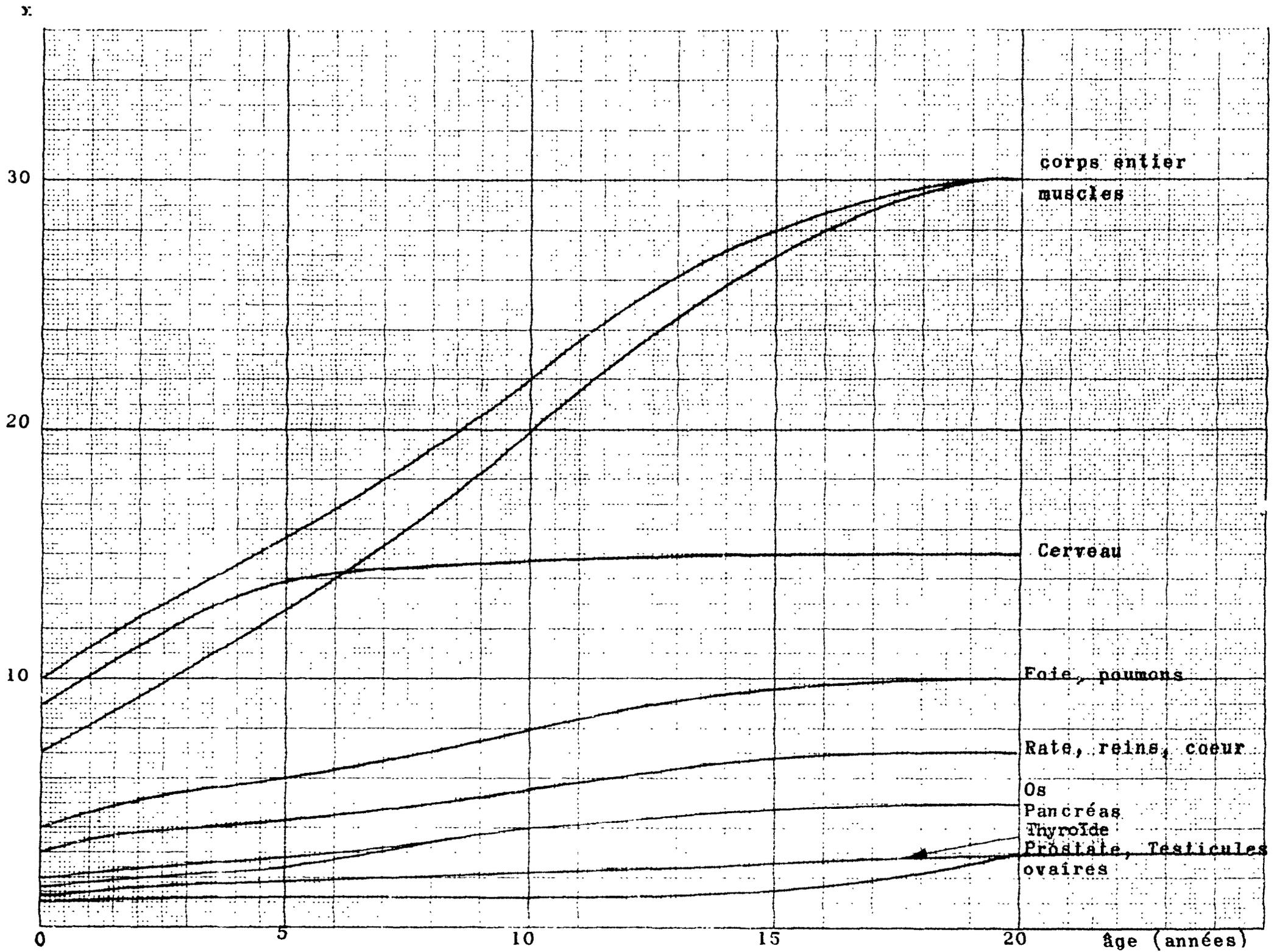


Planche 1 - Allure approximative de la variation du rayon effectif des organes en fonction de l'âge

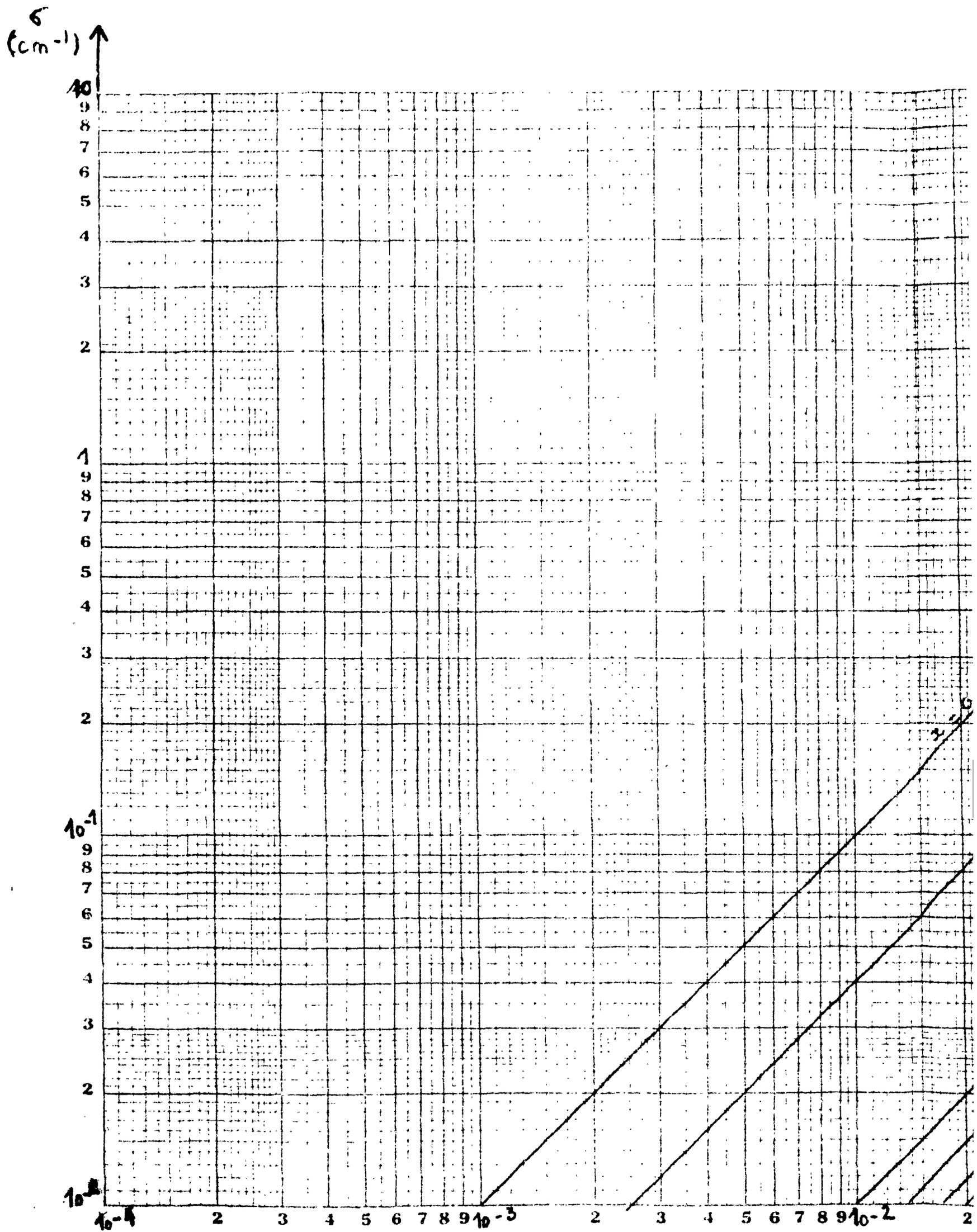
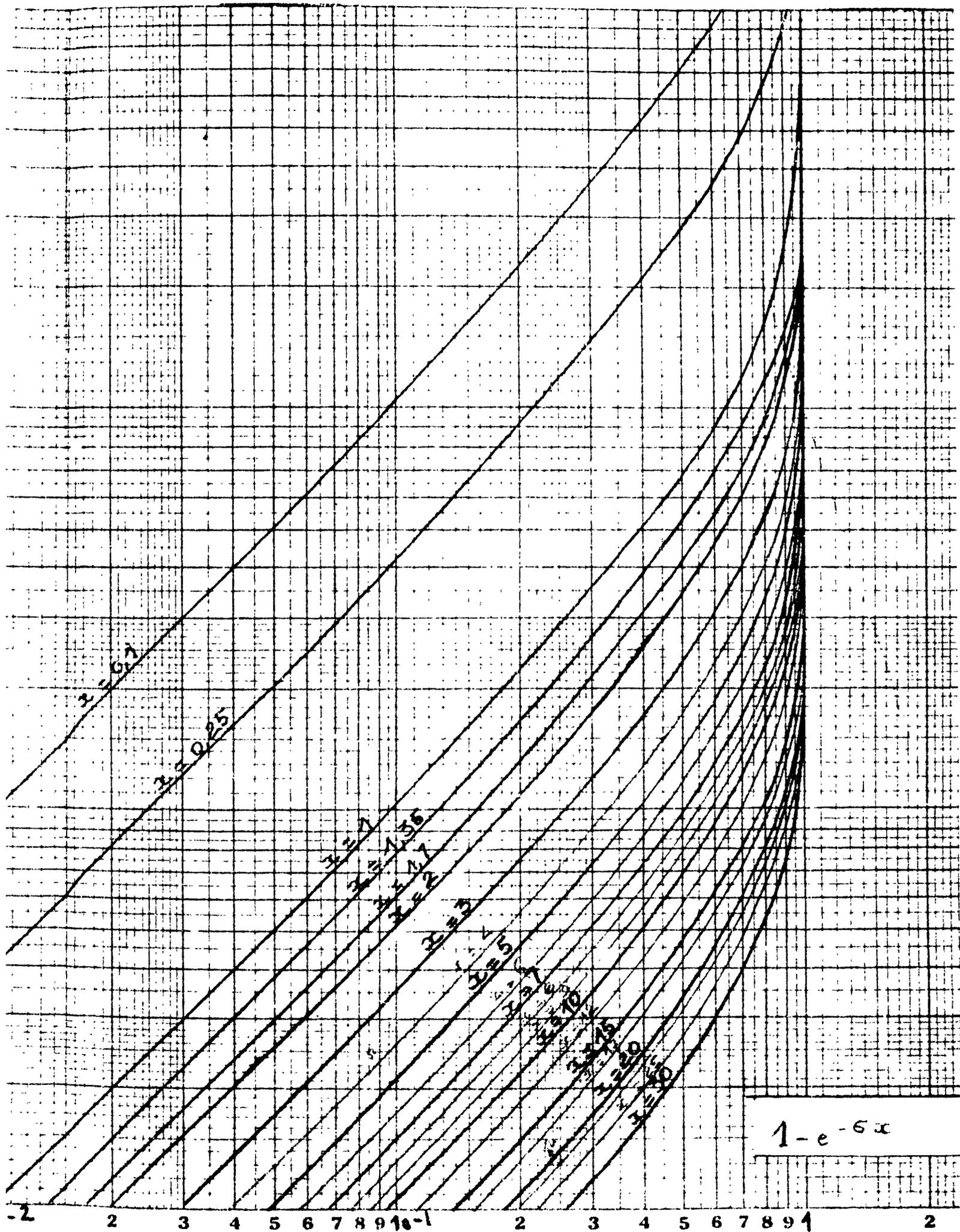


Planche 2 - γ Tracé de $(1 - e^{-\sigma x})$ en fonction d



ction de σ pour différentes valeurs de x

E (MeV)

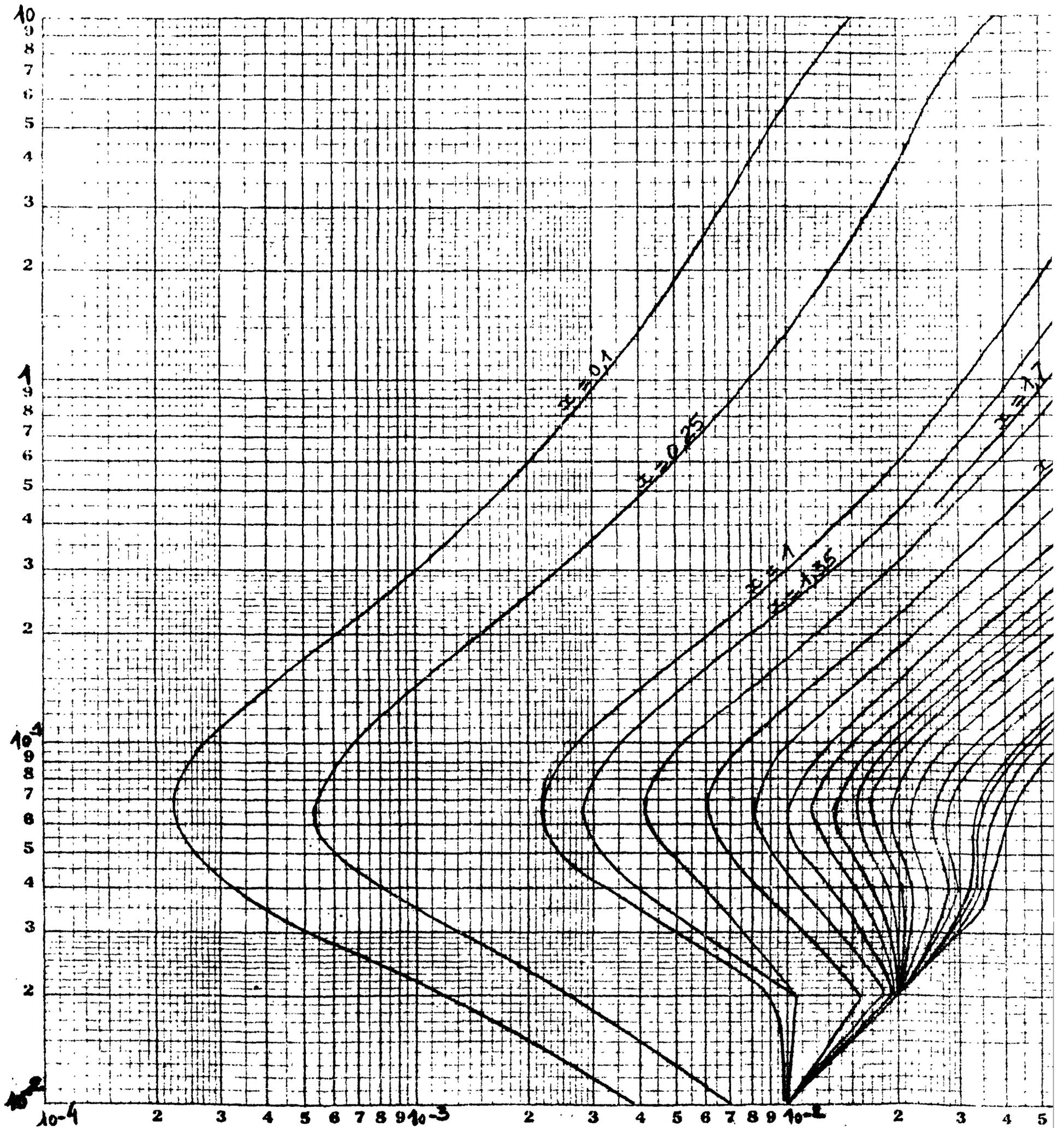
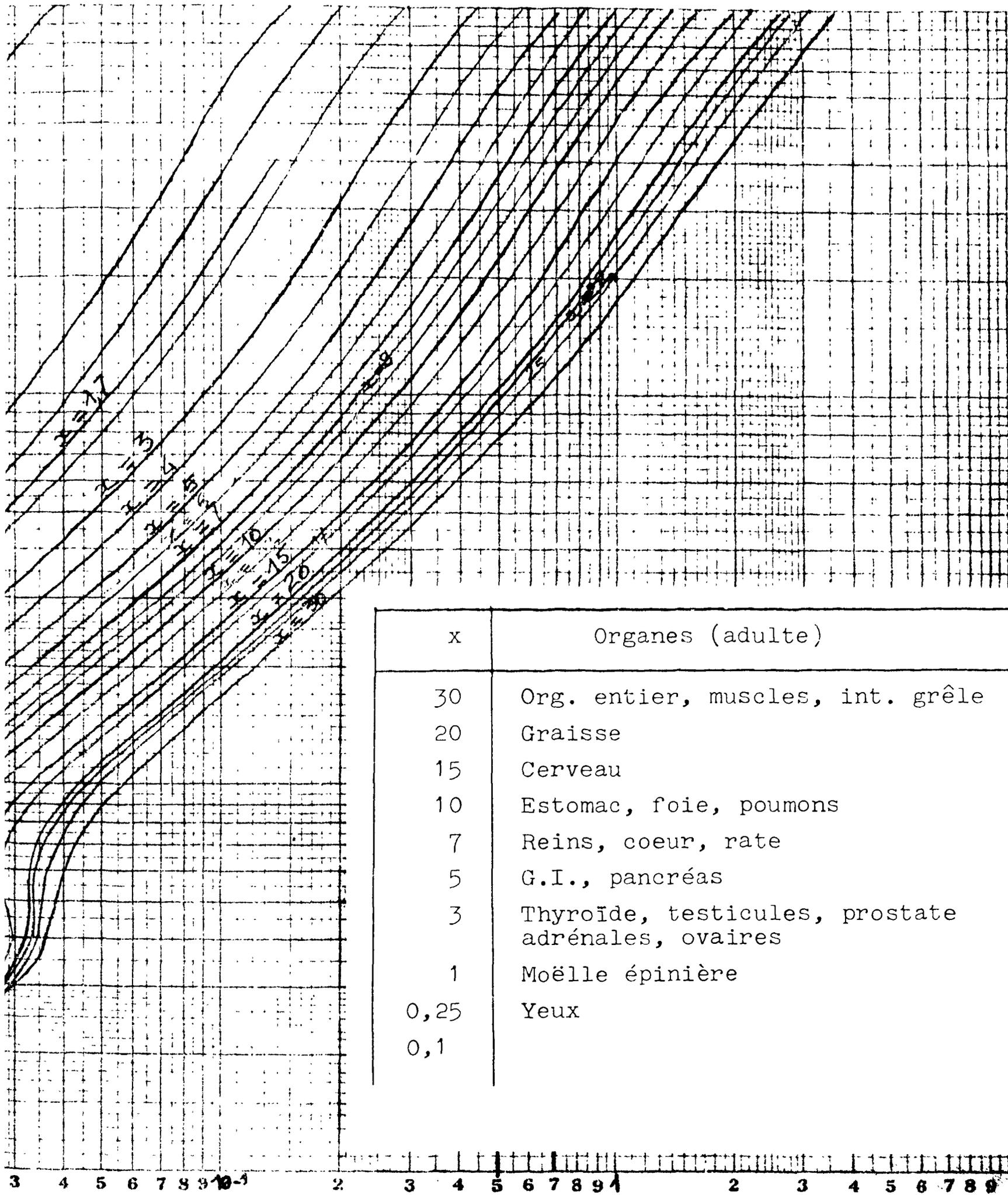


Planche 3 - γ Organes autres que 1
Tracé de $E(1 - e^{-6})$
pour différentes val



es que le squelette
 $(1 - e^{-6x})$ en fonction de E
 ates valeurs de x

$E(1 - e^{-6x})$

E (MeV)

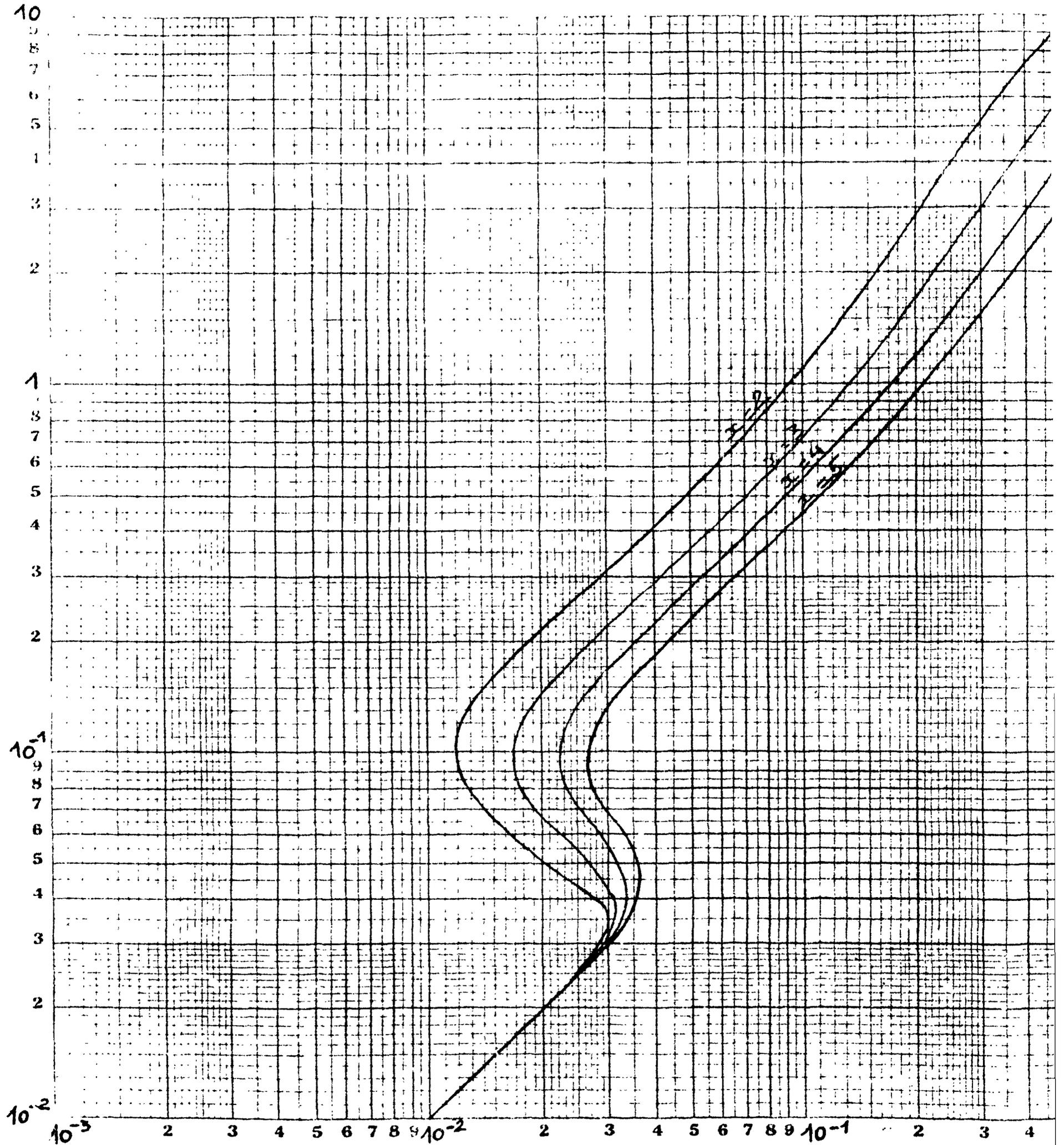
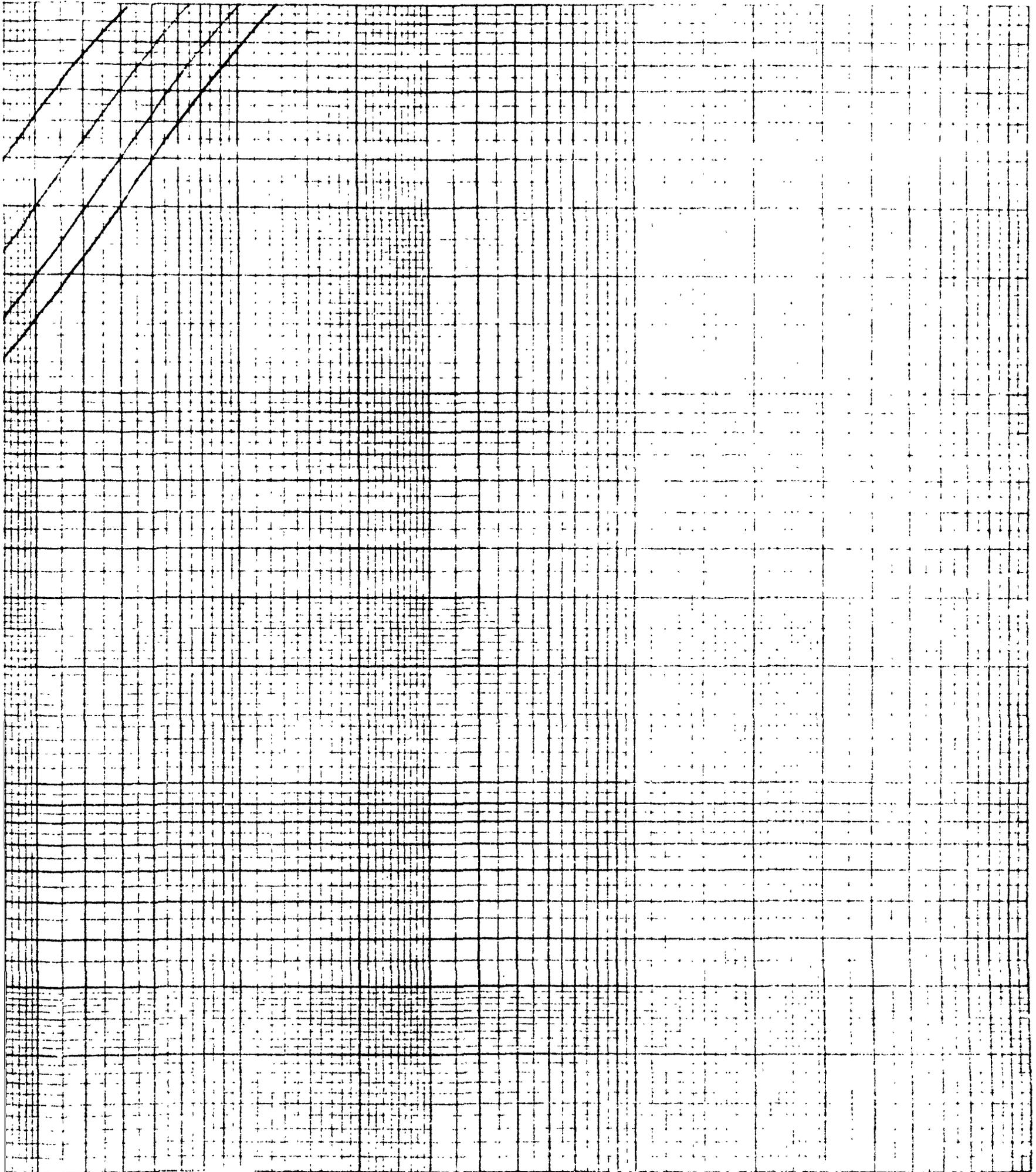


Planche 4 - γ Os Tracé de E(1 - pour différentes vale

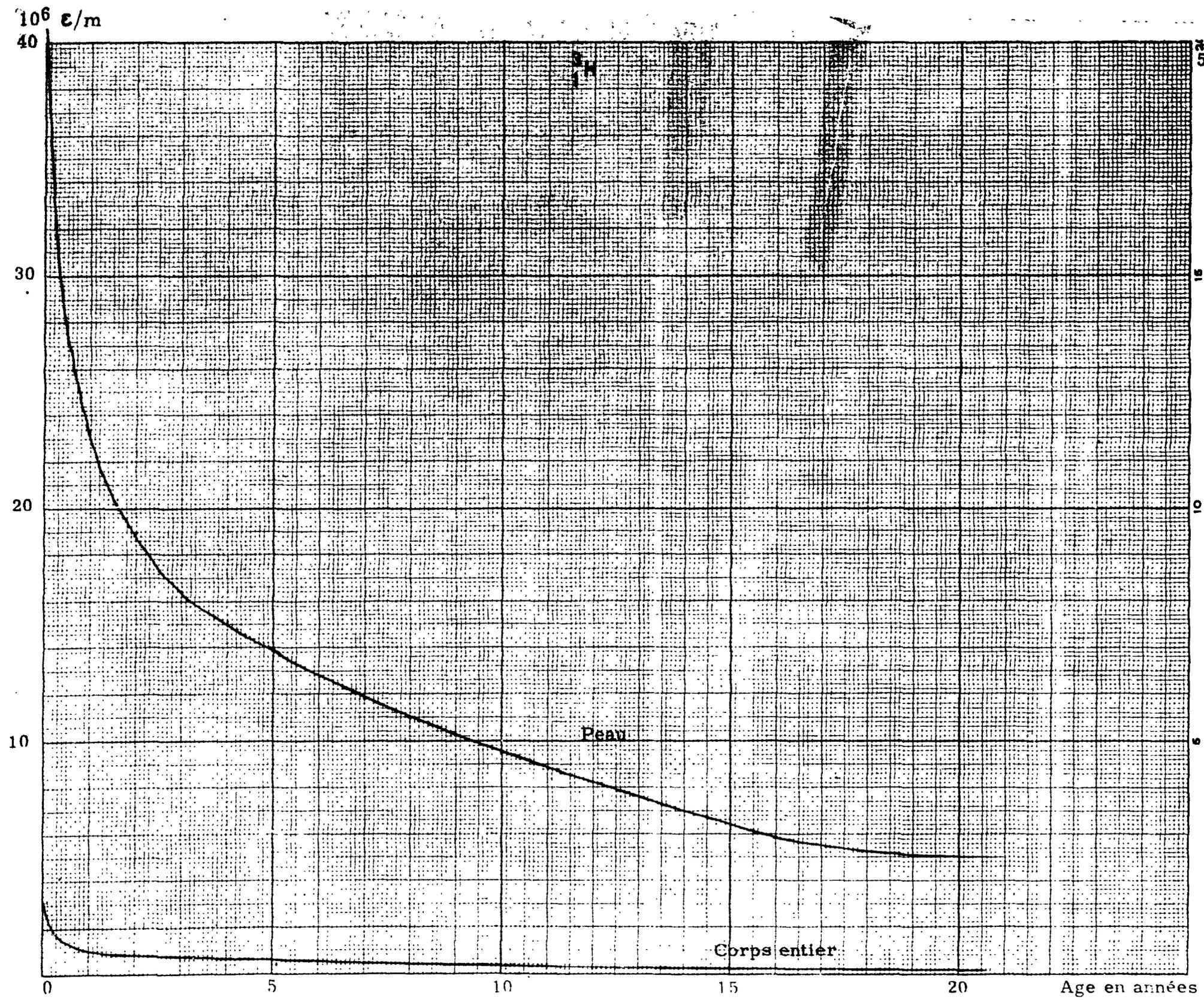


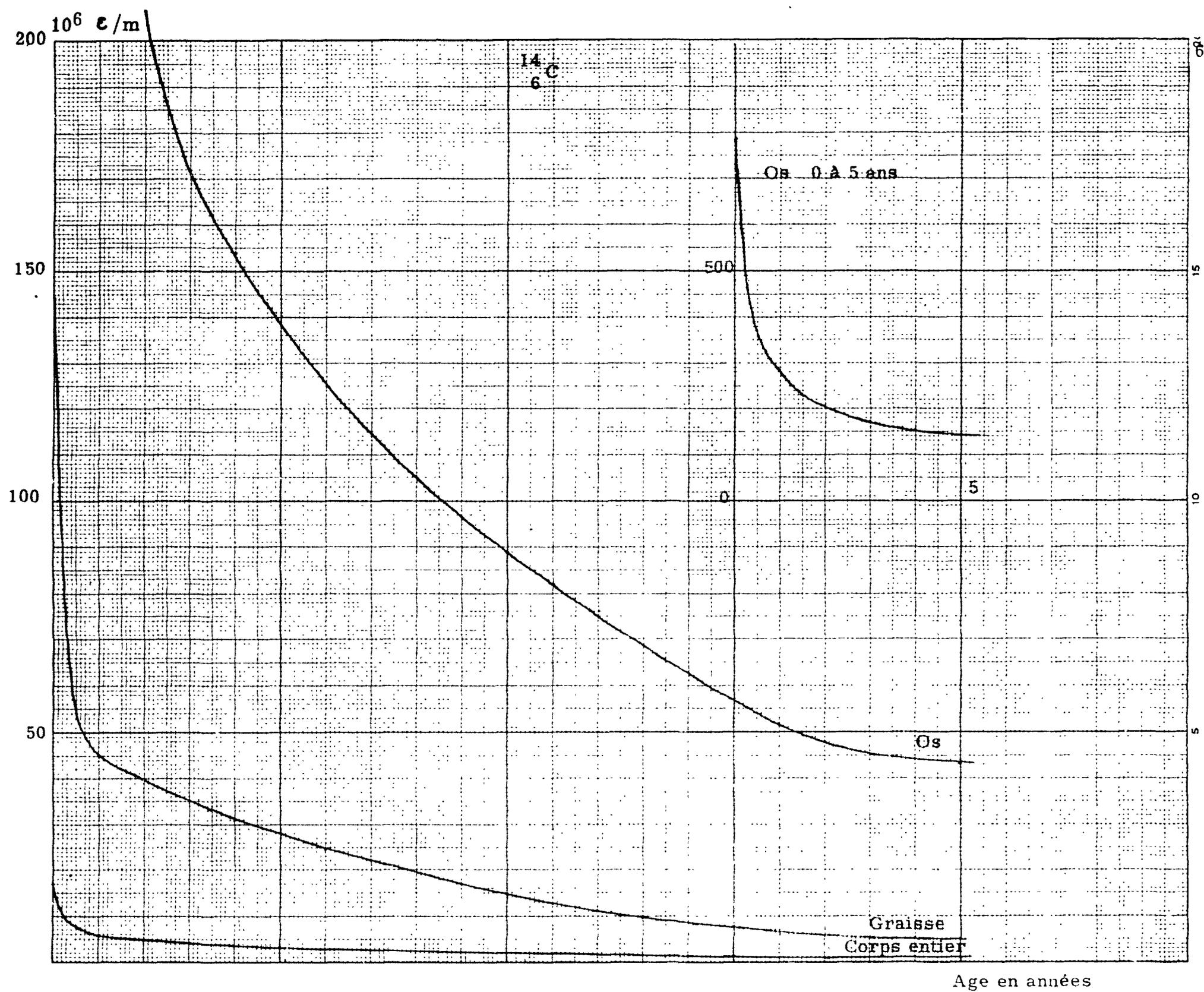
3 4 5 6 7 8 9 10 2 3 4 5 6 7 8 9 10 2 3 4 5 6 7 8 9

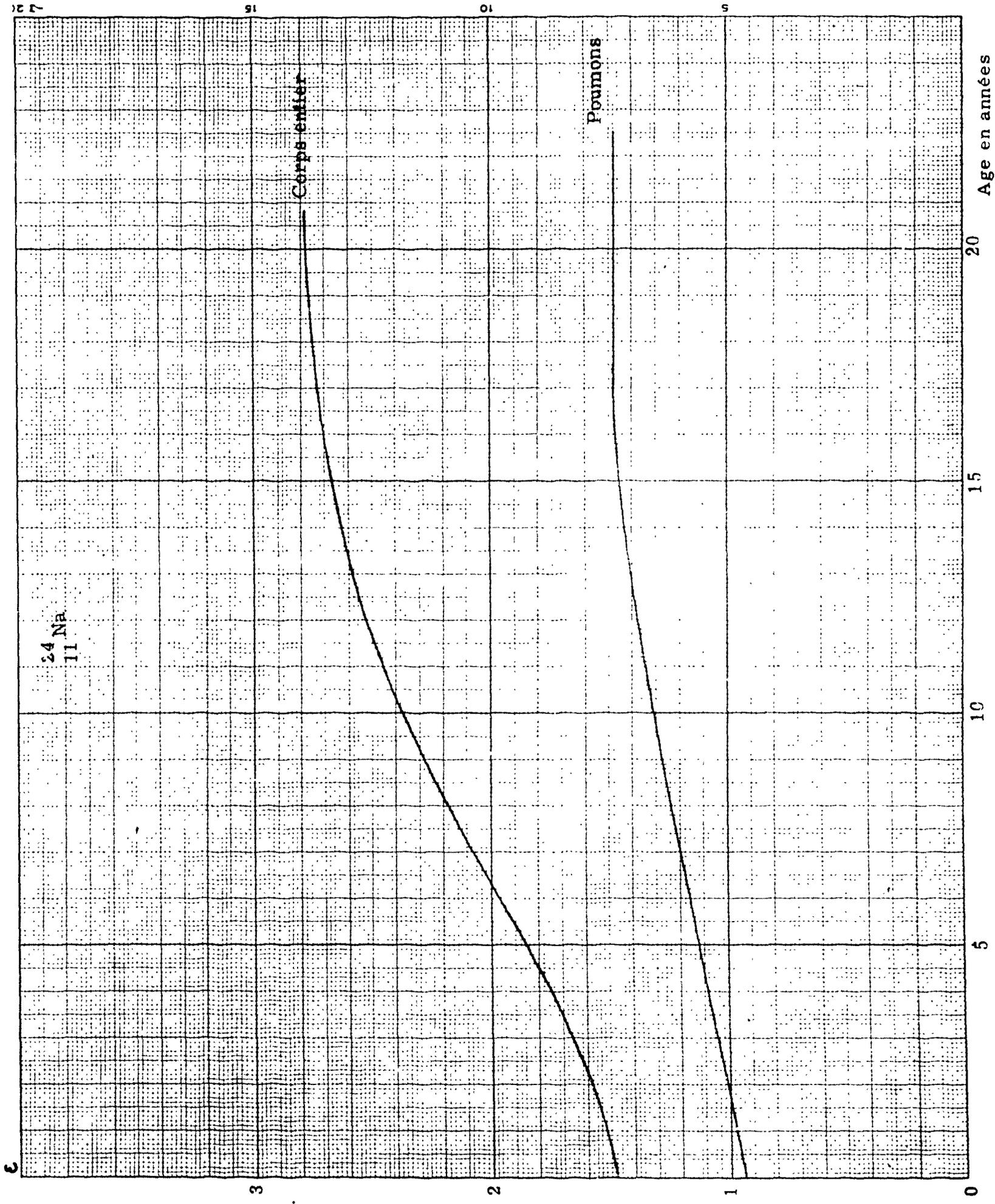
de $E(1 - e^{-\sigma x})$ en fonction de E
 ces valeurs de x

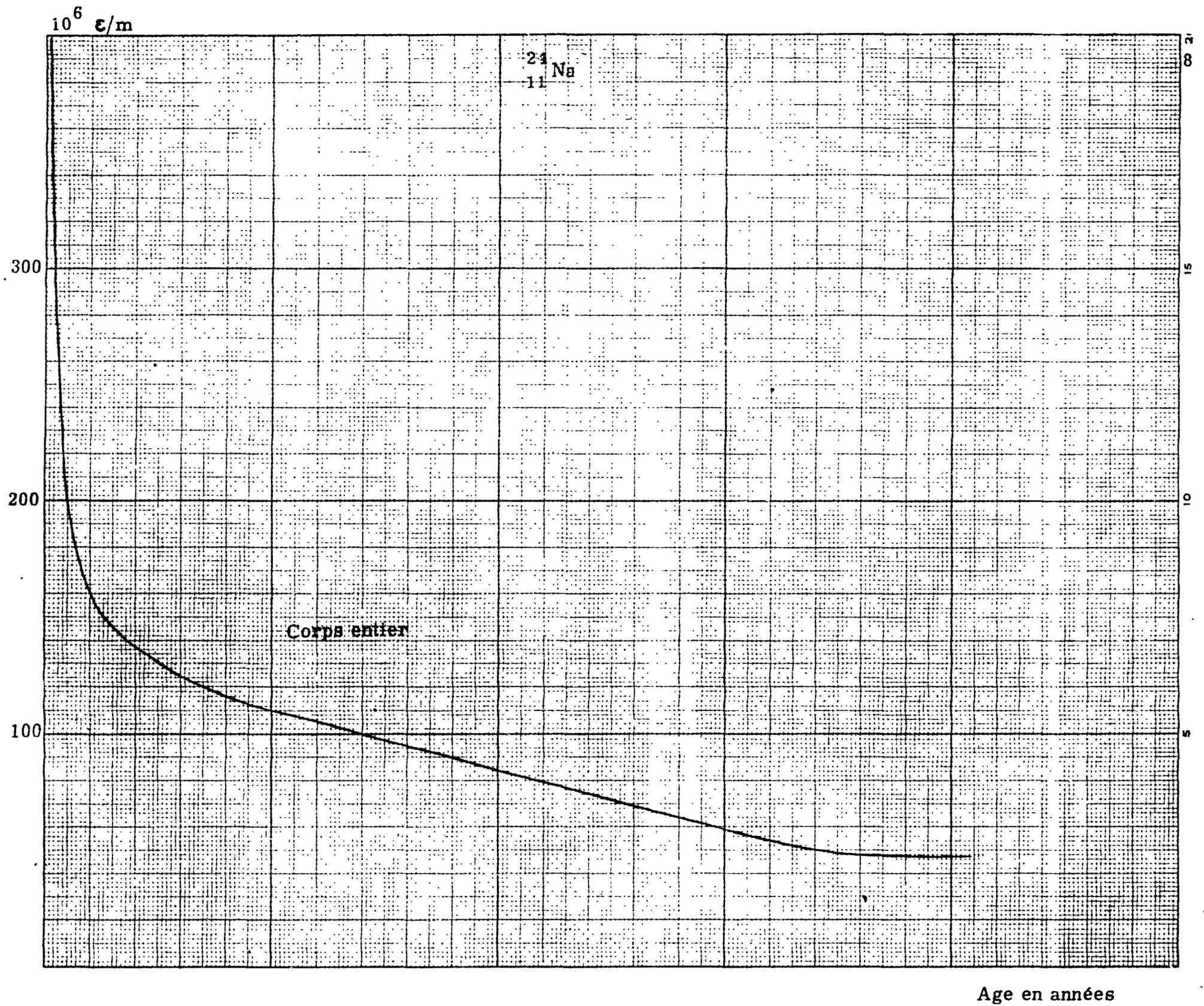
$$E(1 - e^{-\sigma x})$$

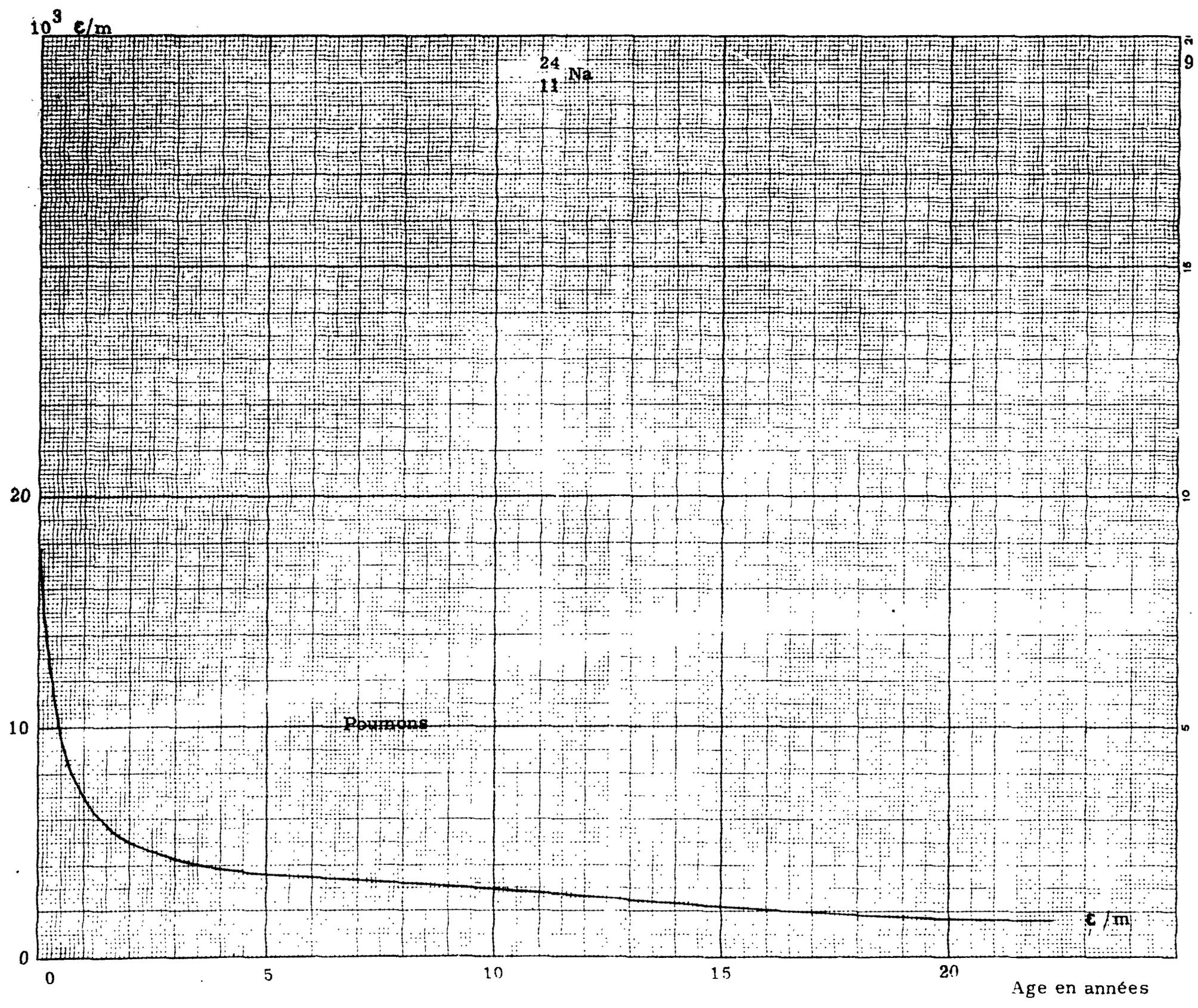
$$\left(= \frac{E}{f} RBE \cdot \pi \right)$$











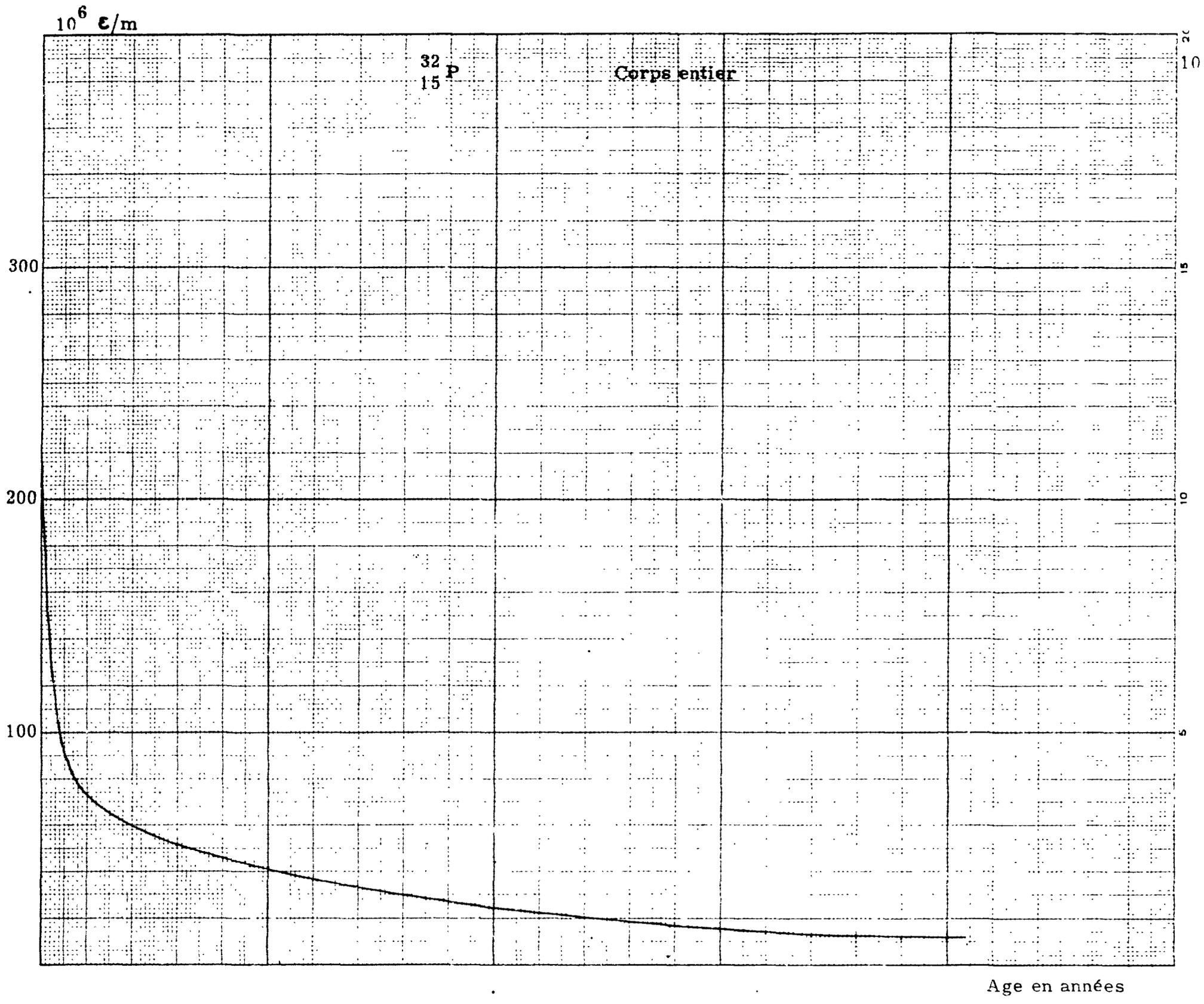
10^3 e/m

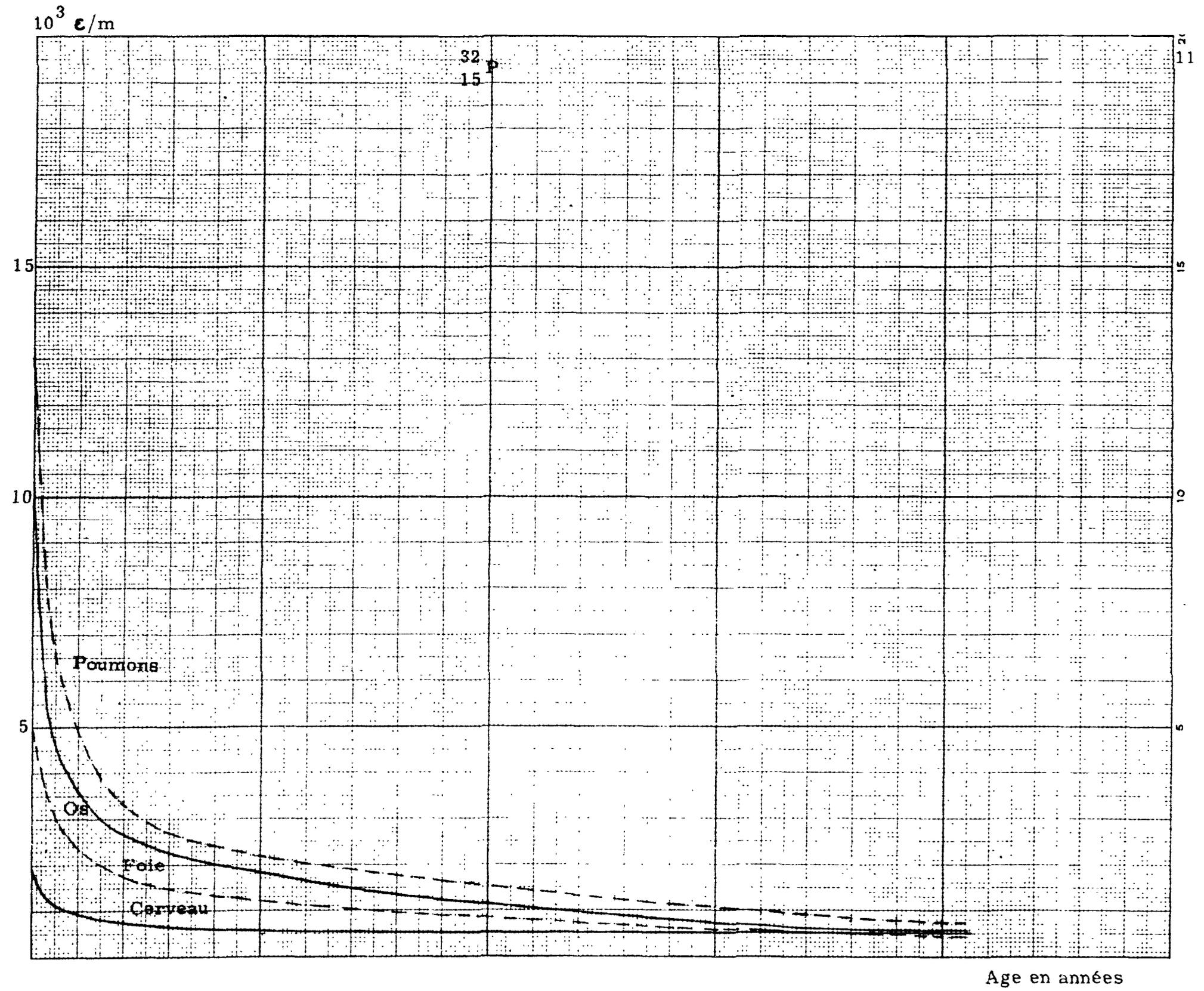
$^{24}_{11}\text{Na}$

Poumons

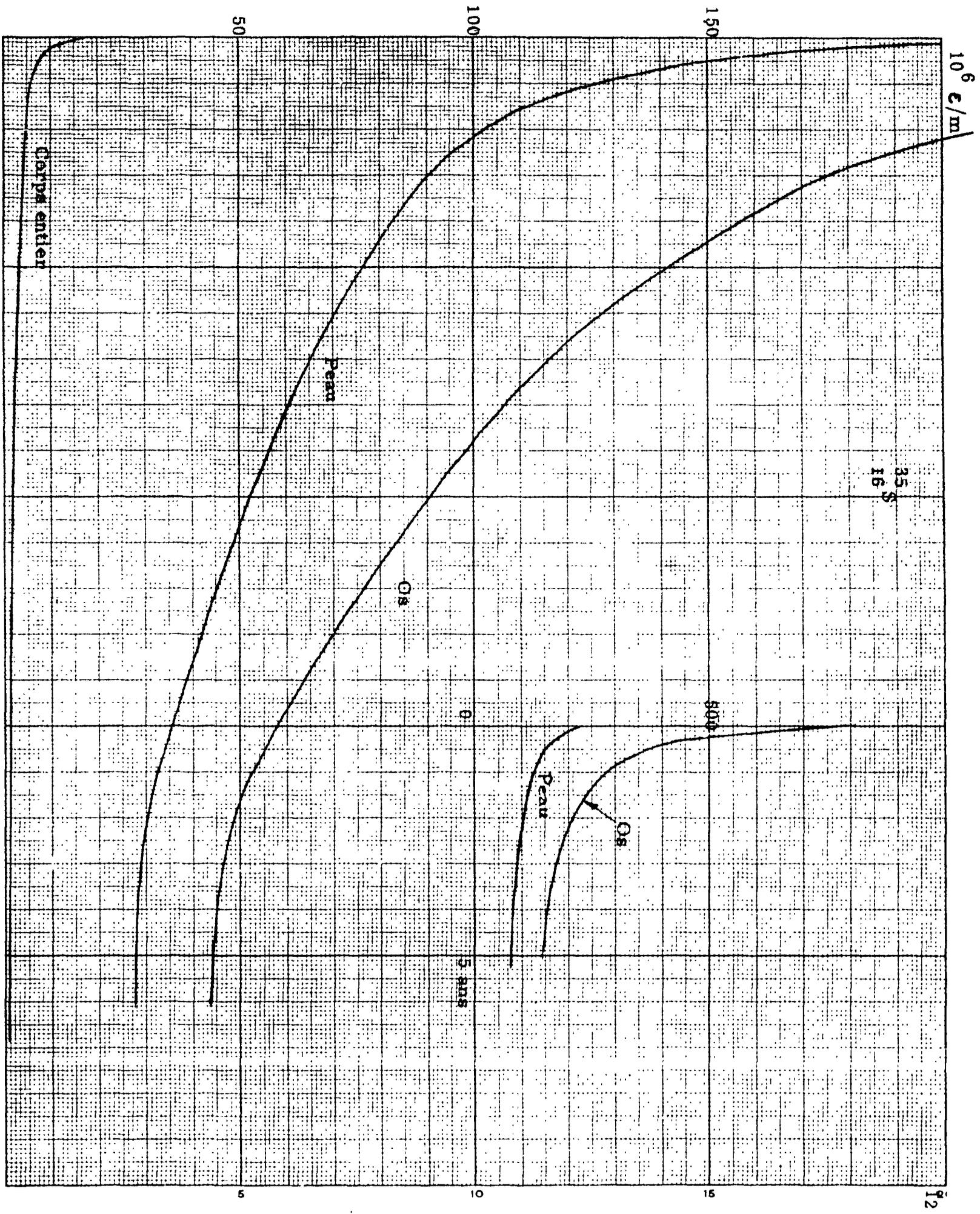
e/m

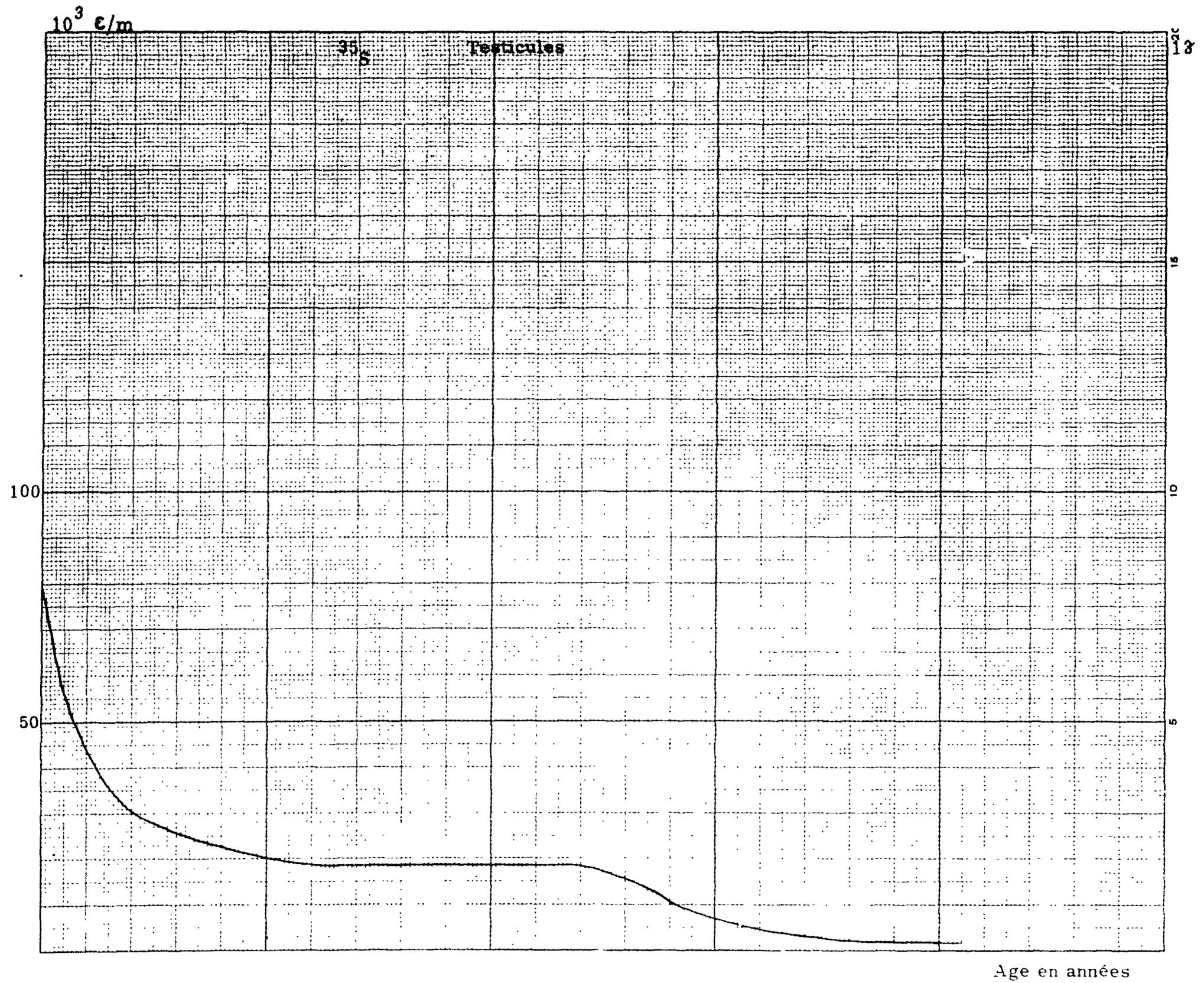
Age en années

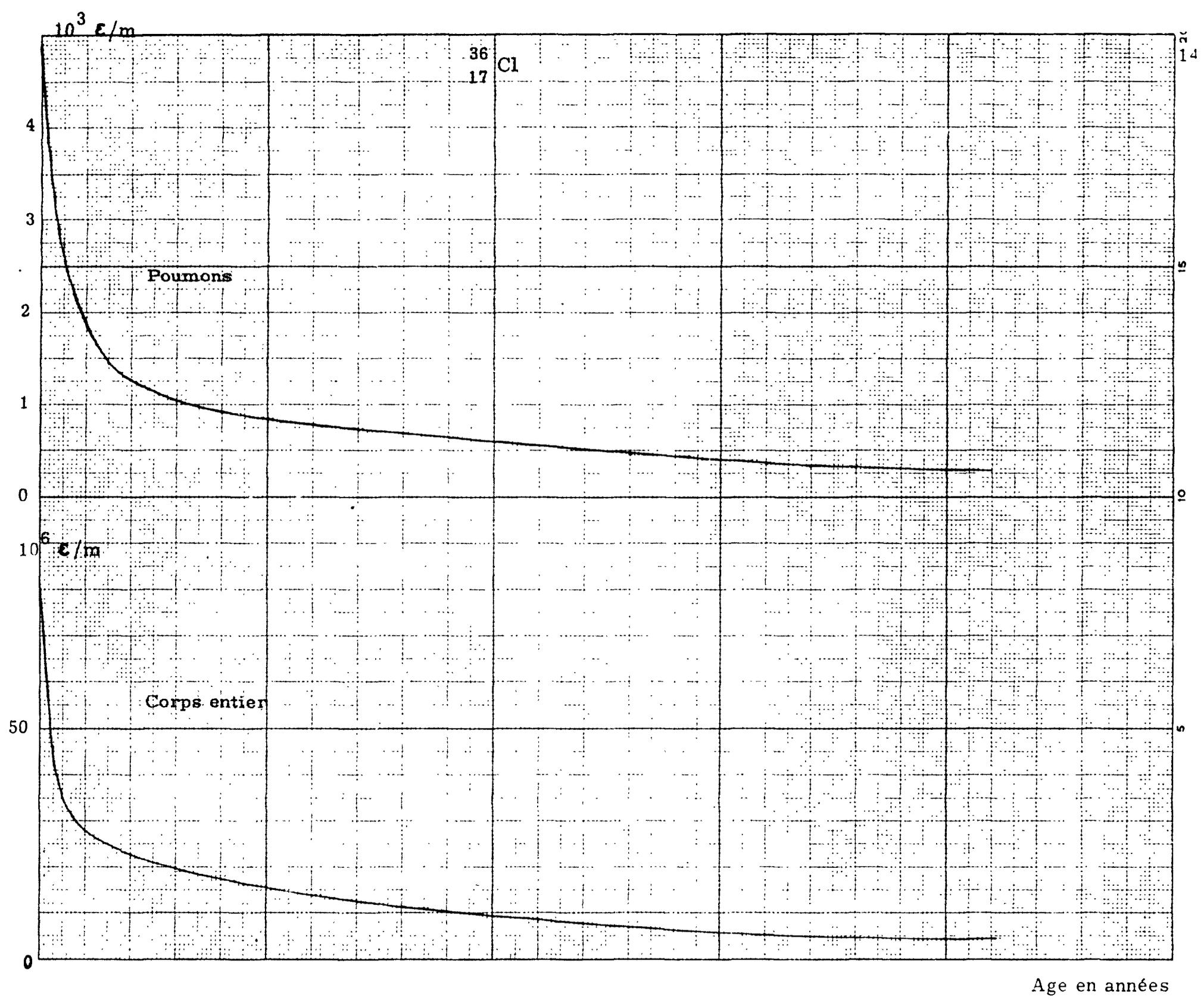


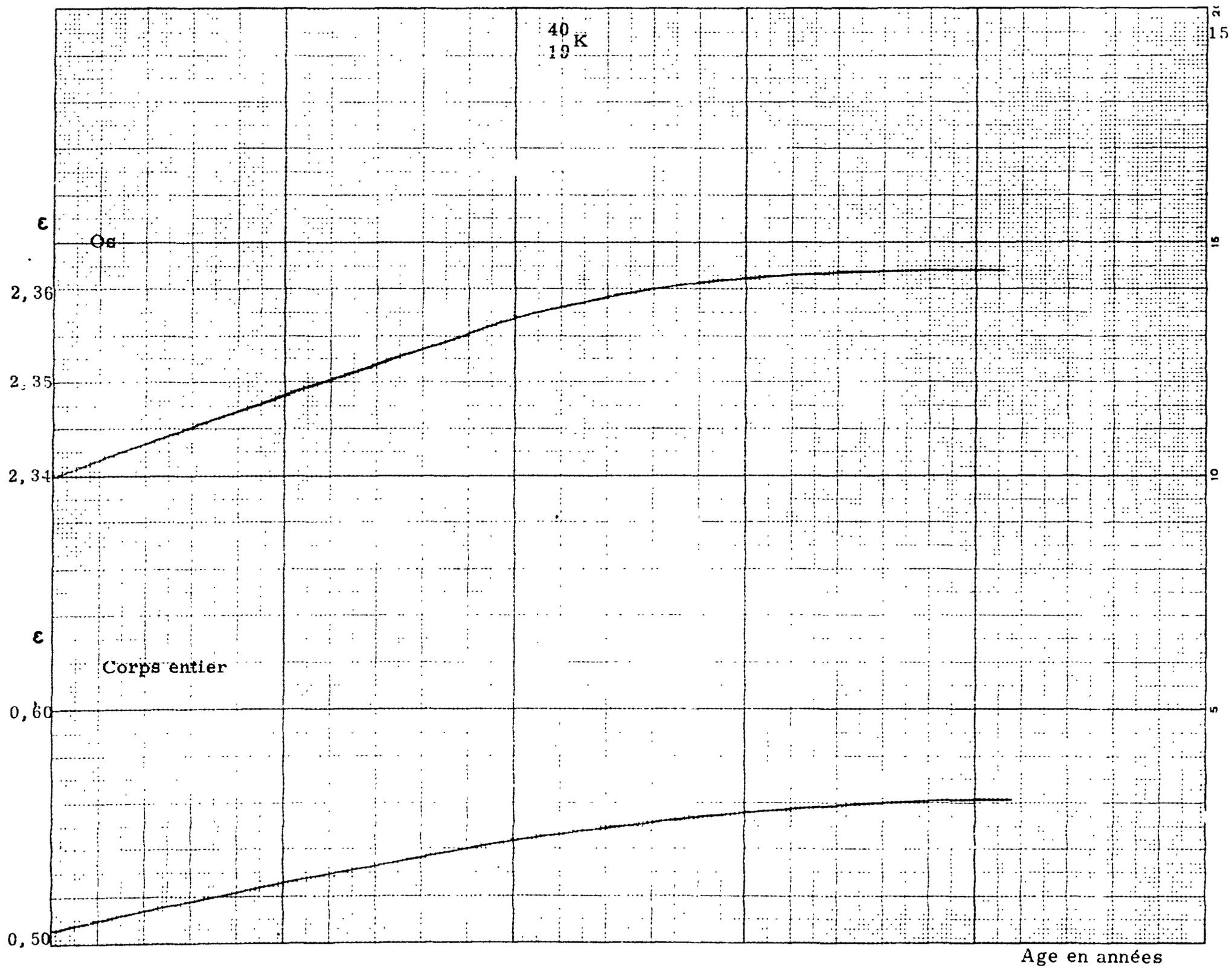


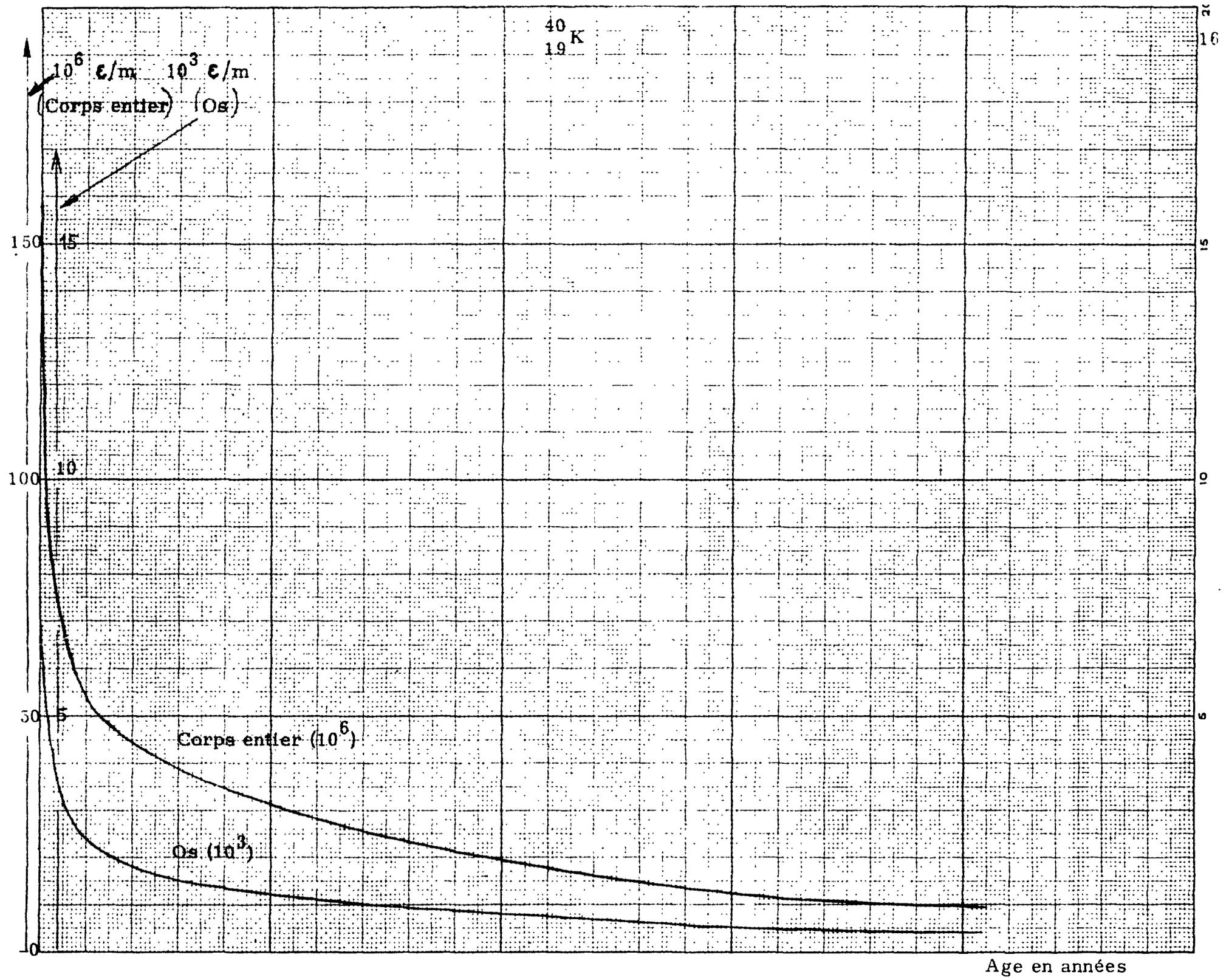
Agé en années

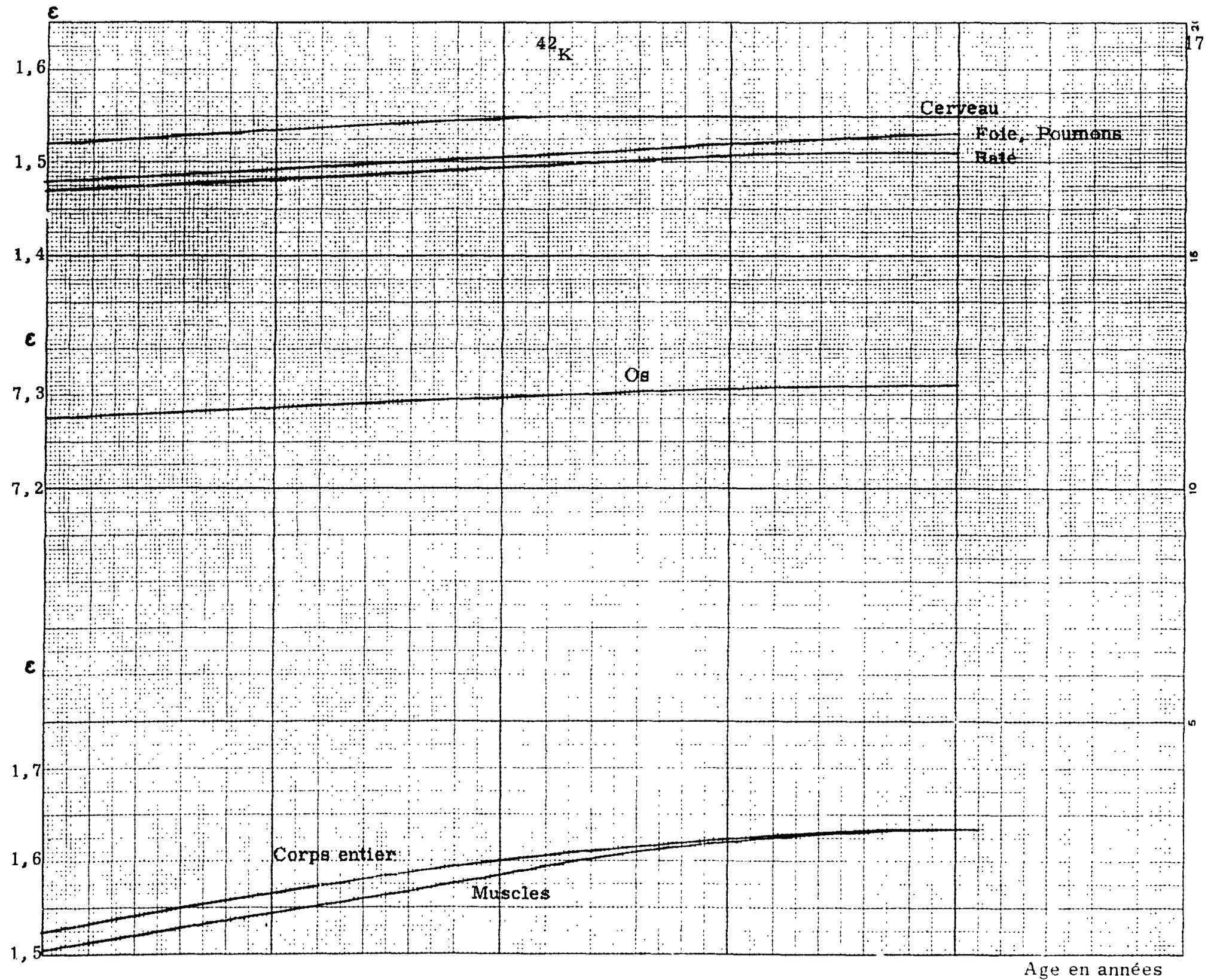


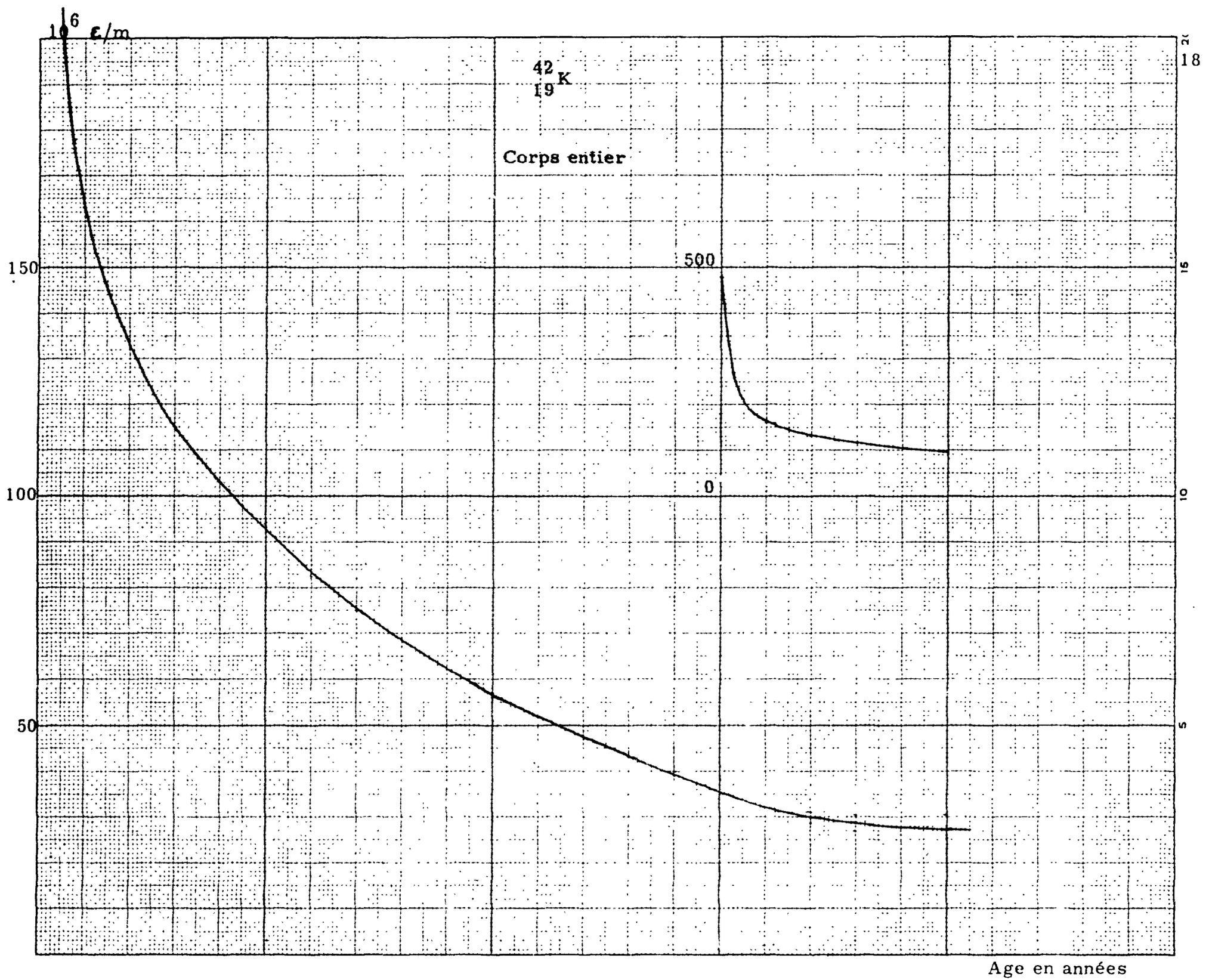


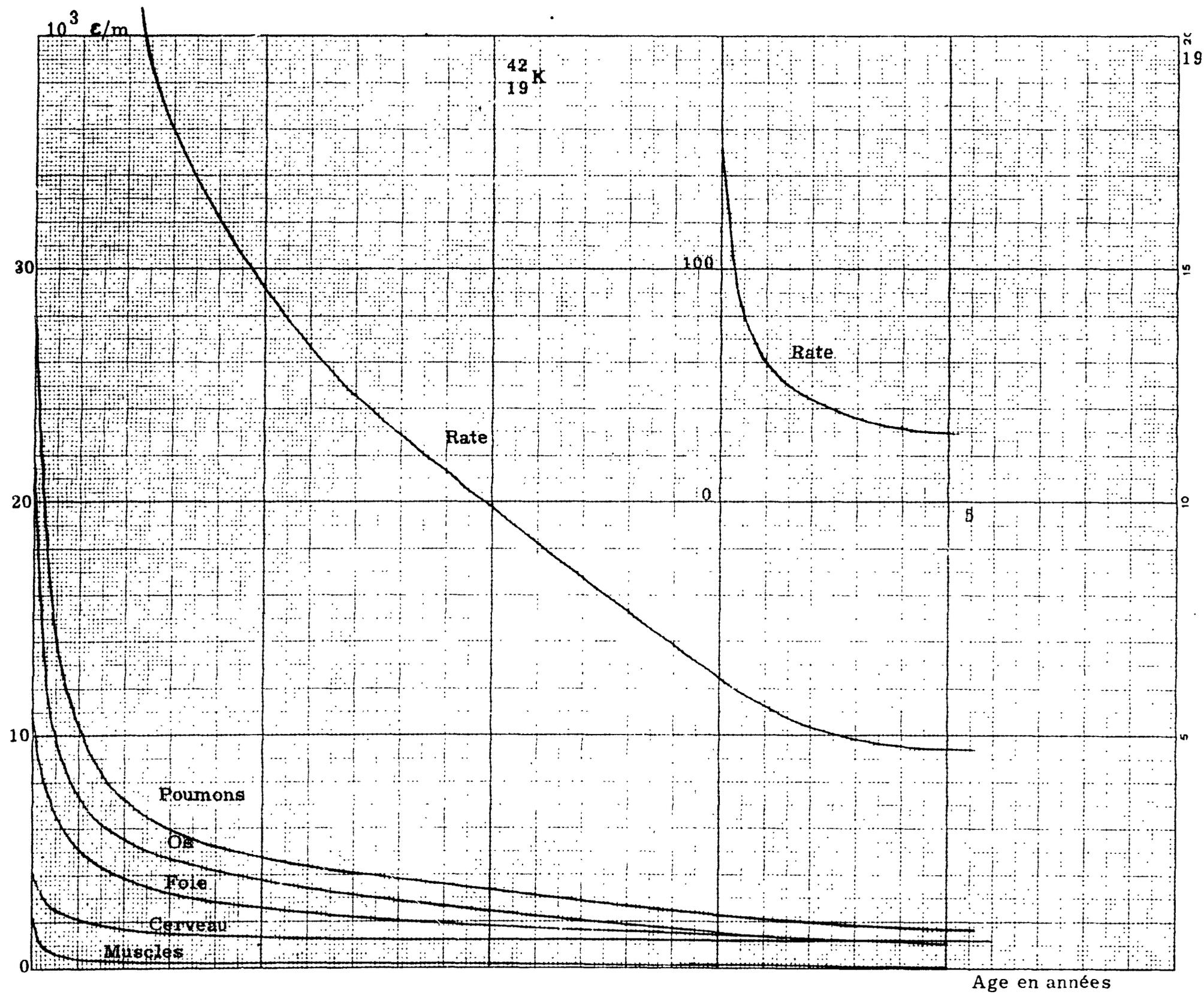


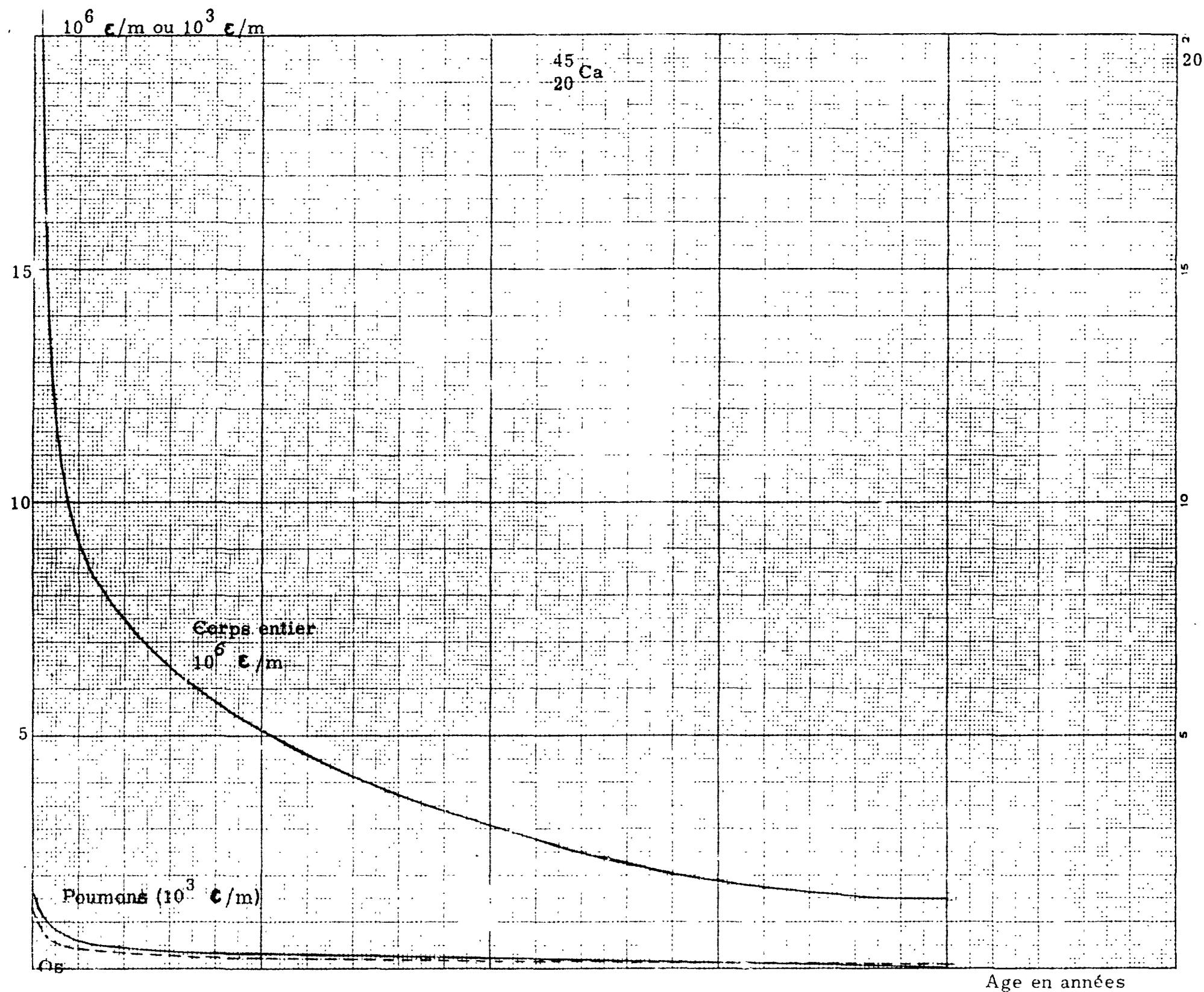


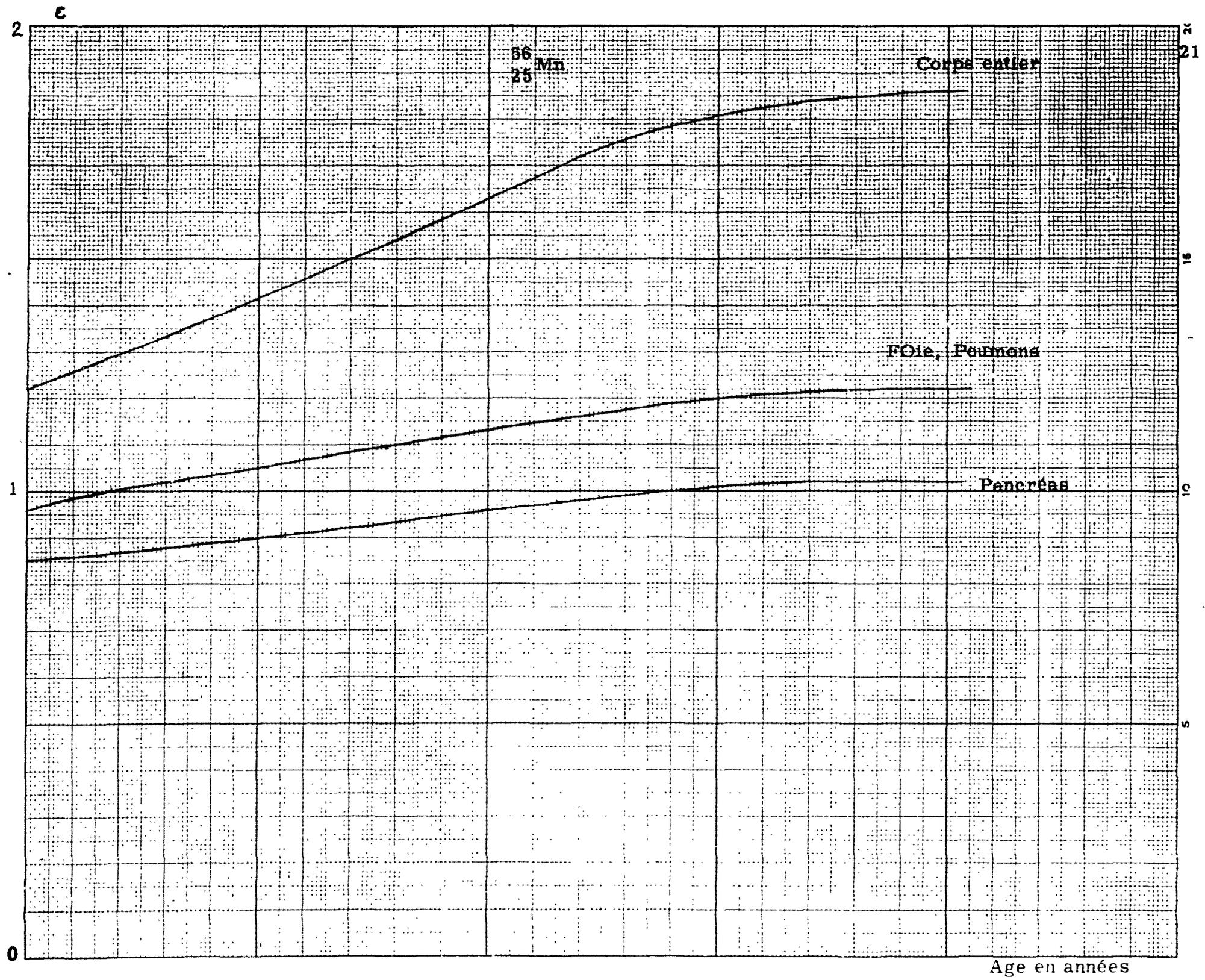


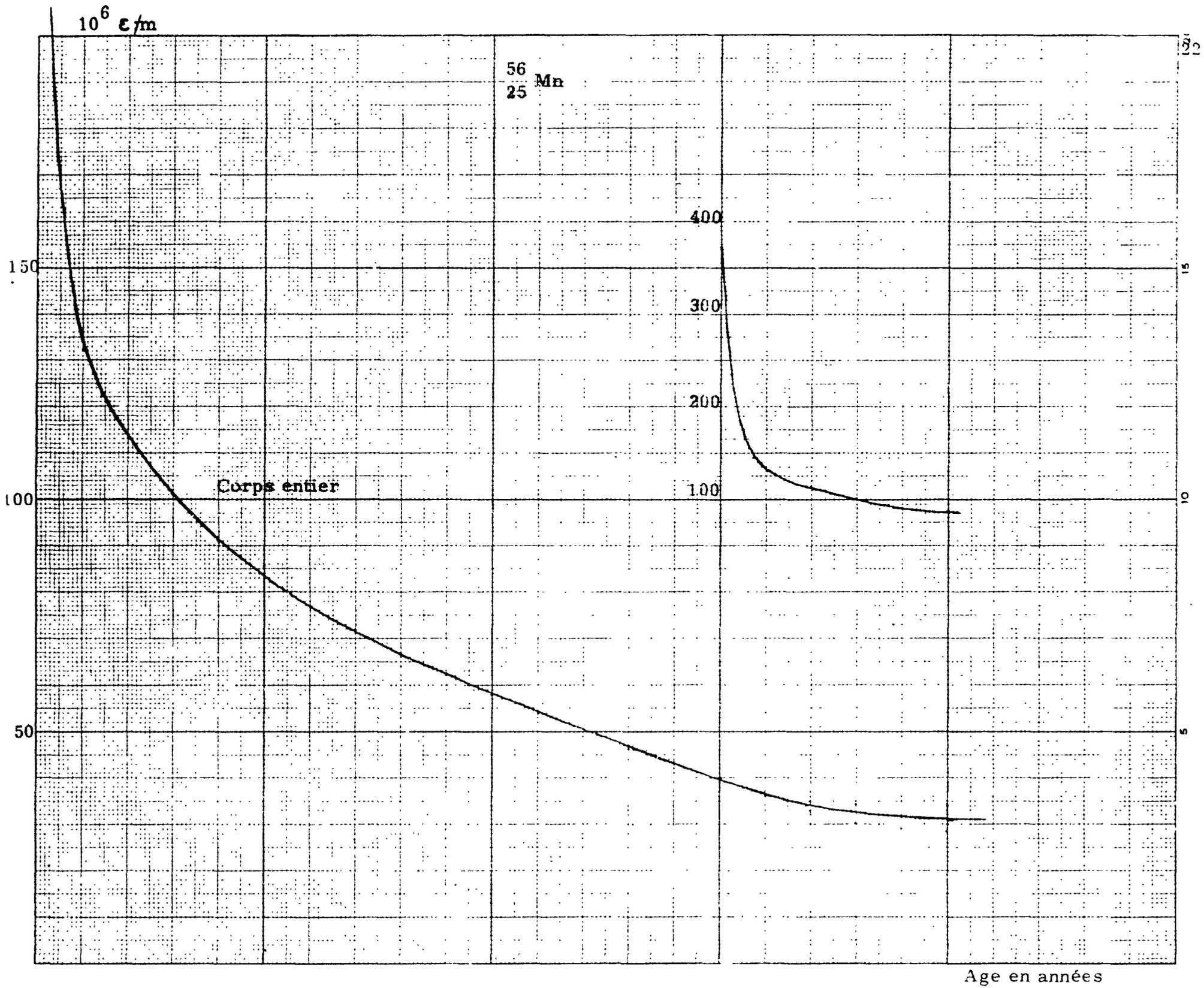


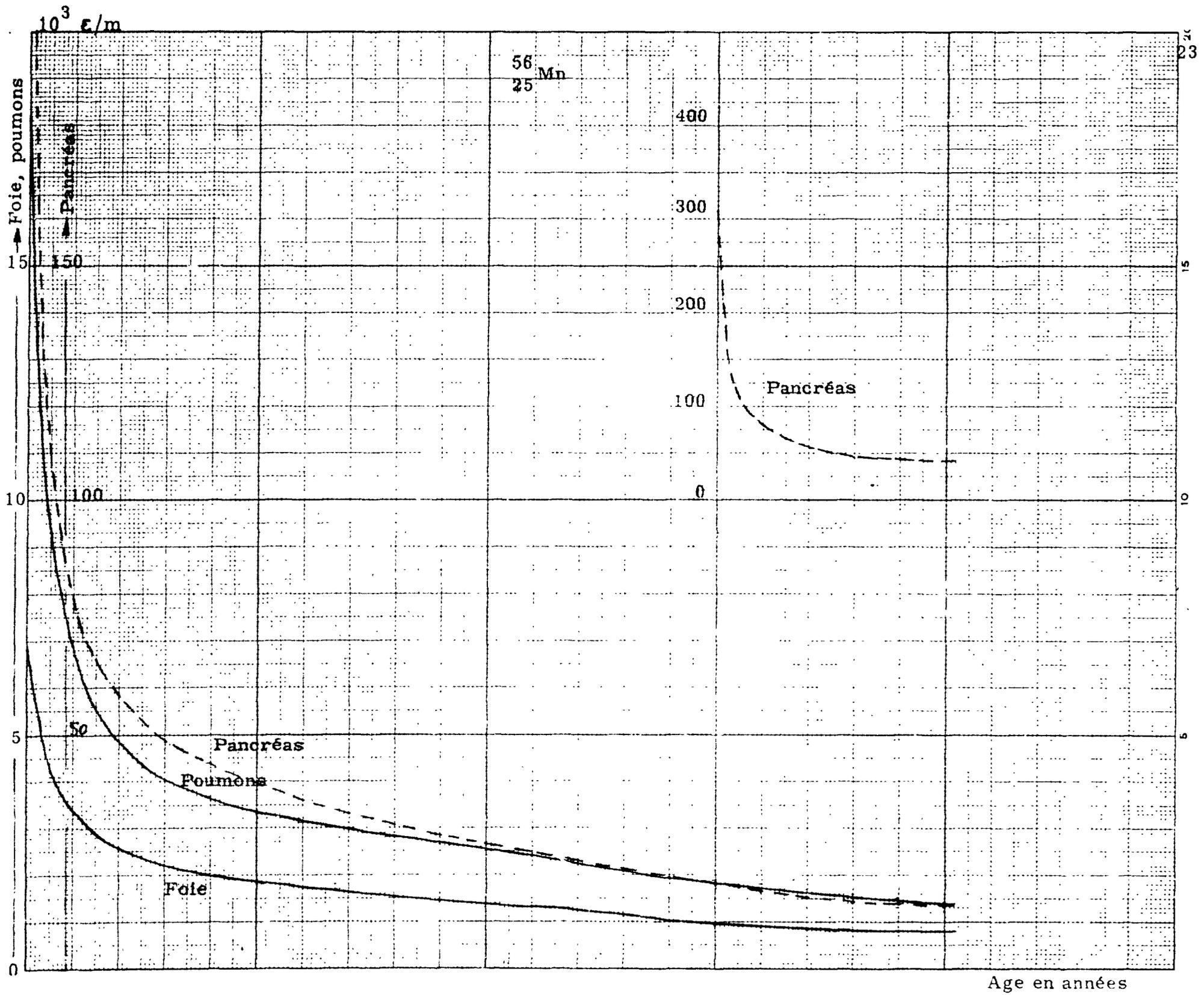


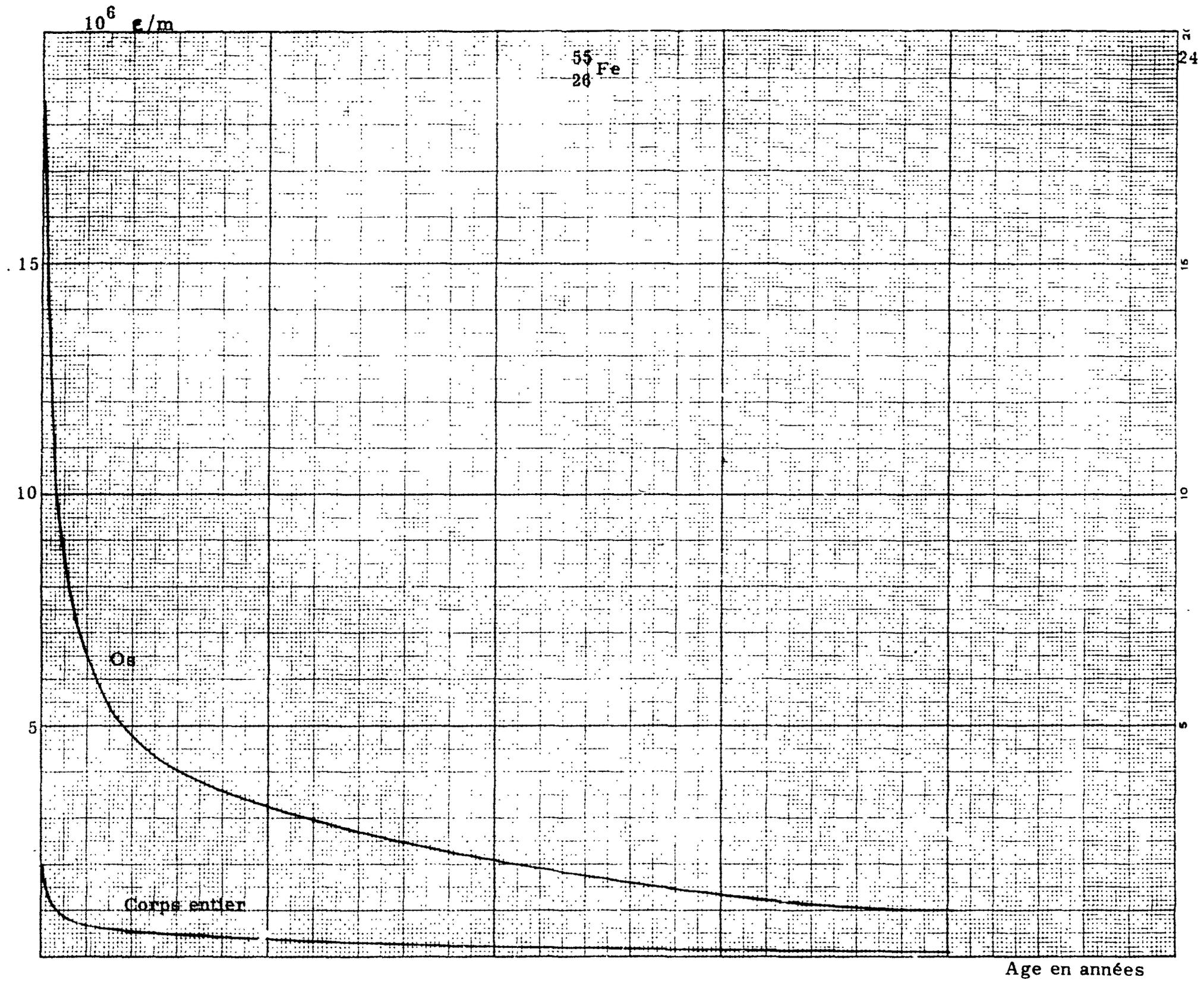


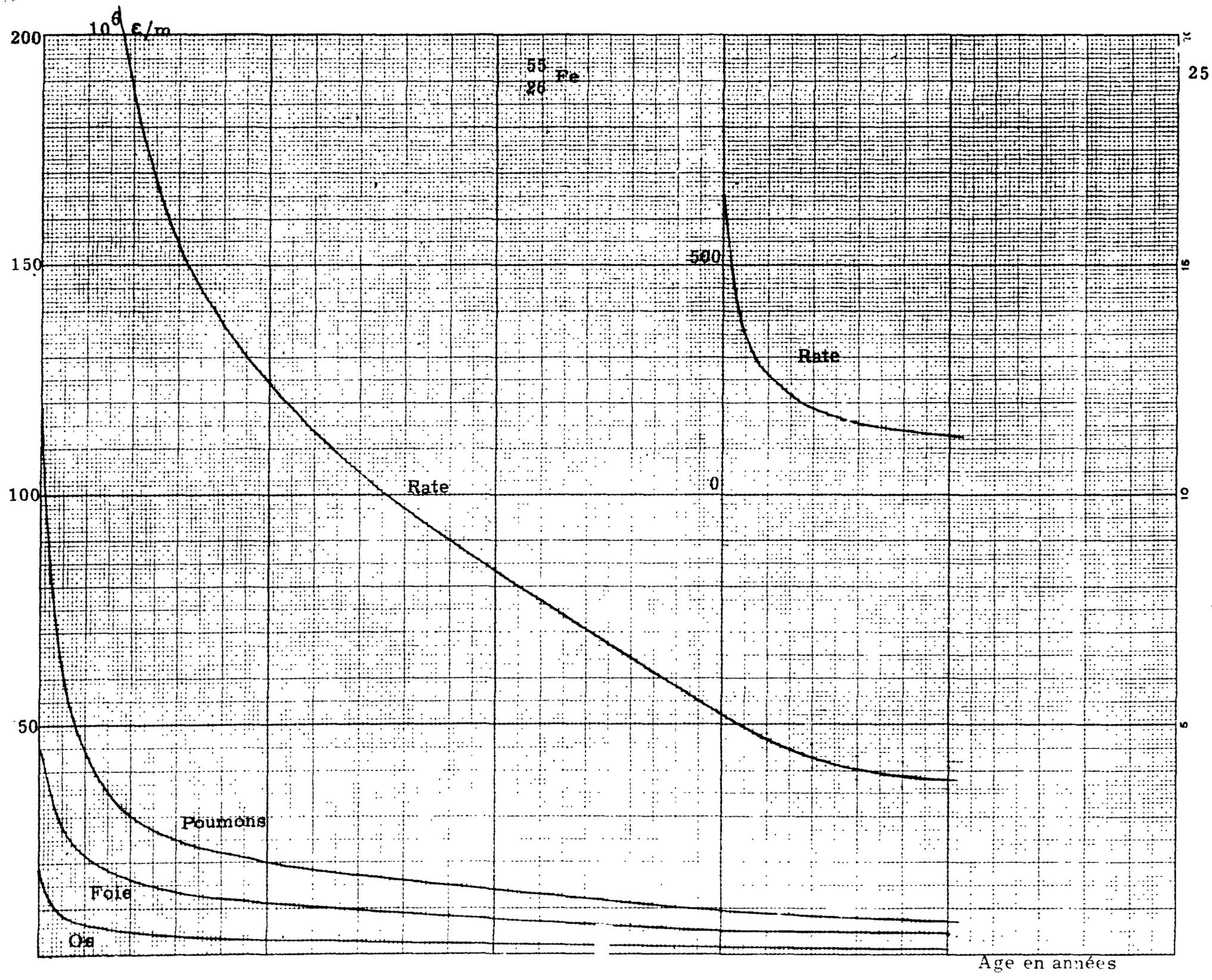


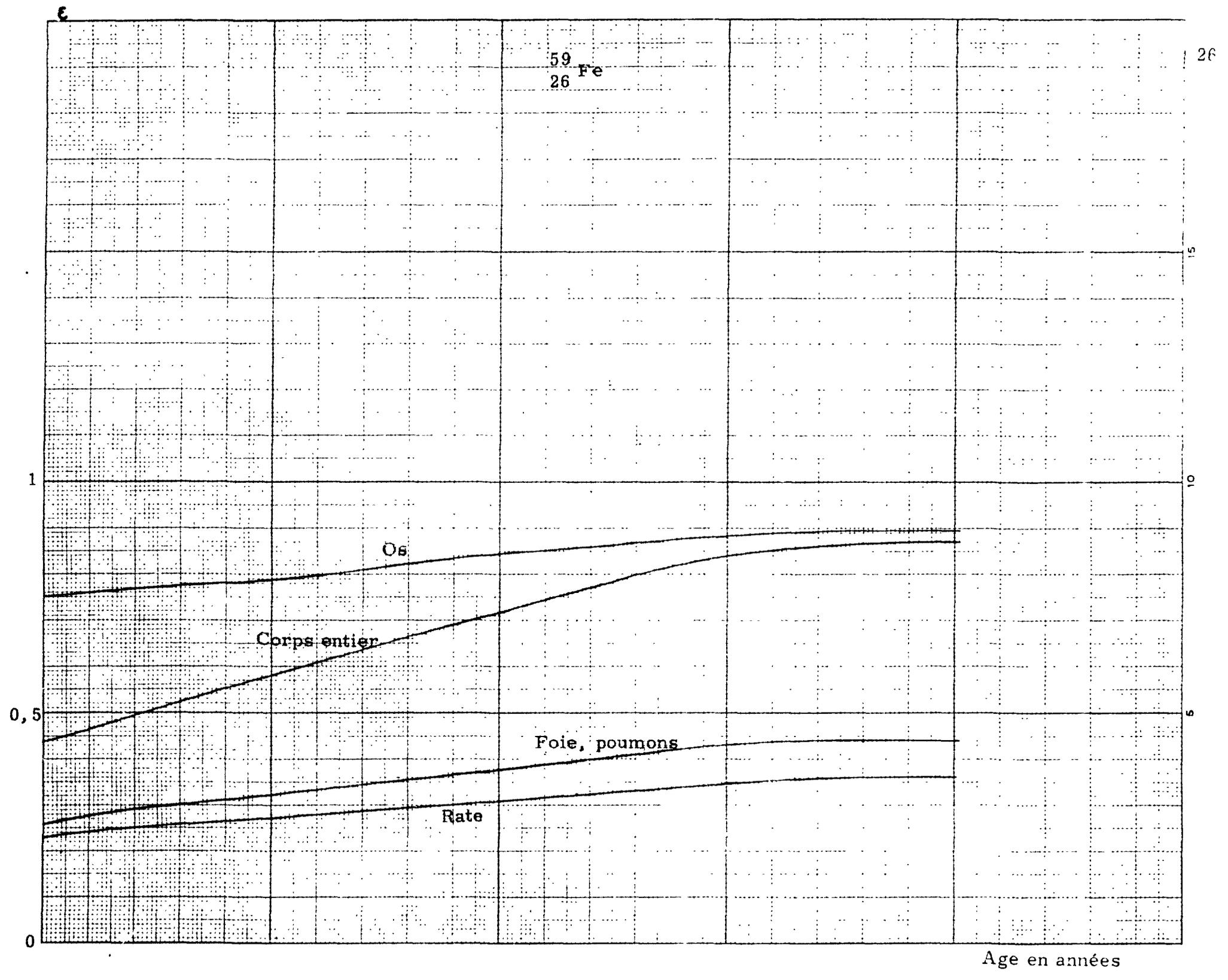


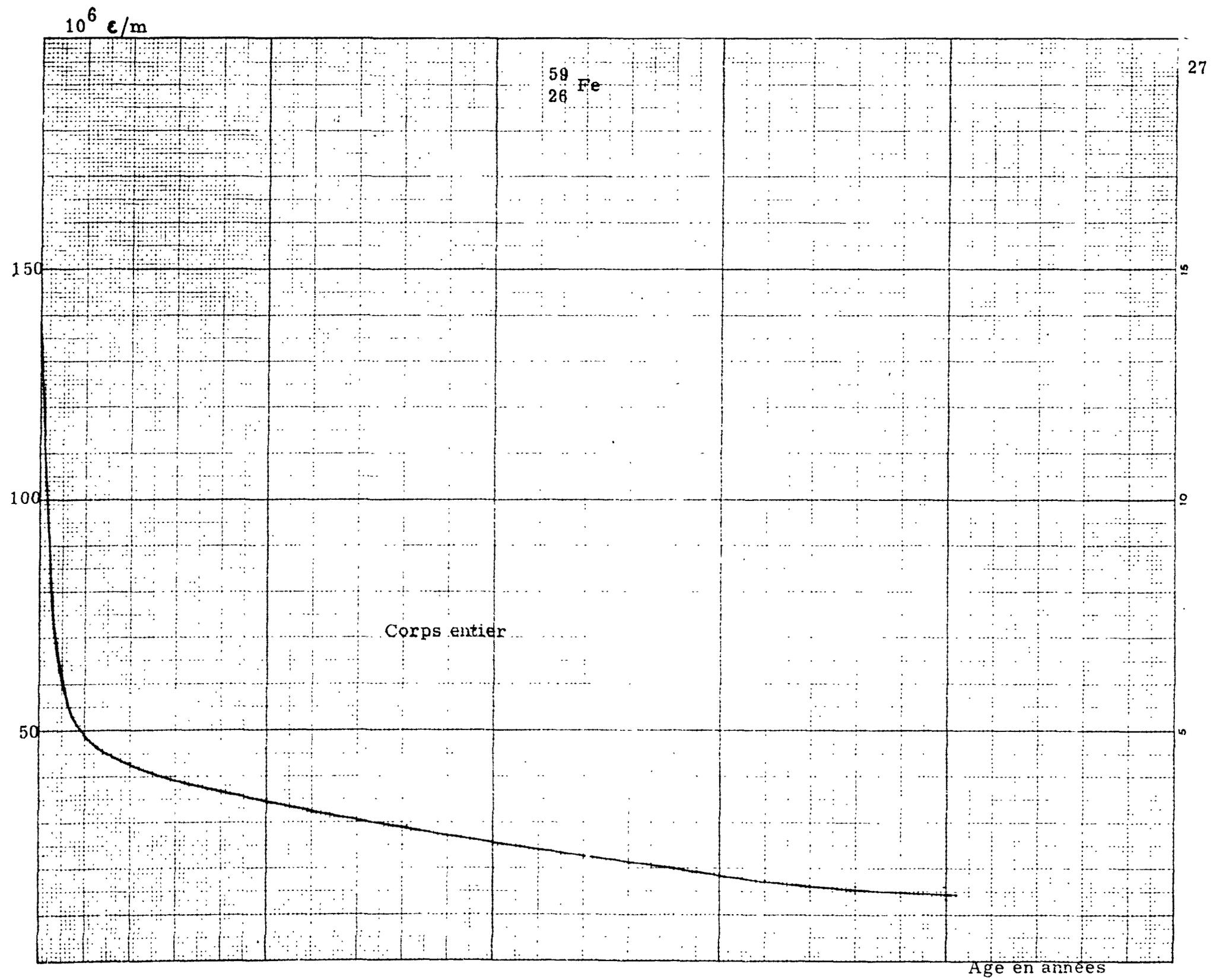


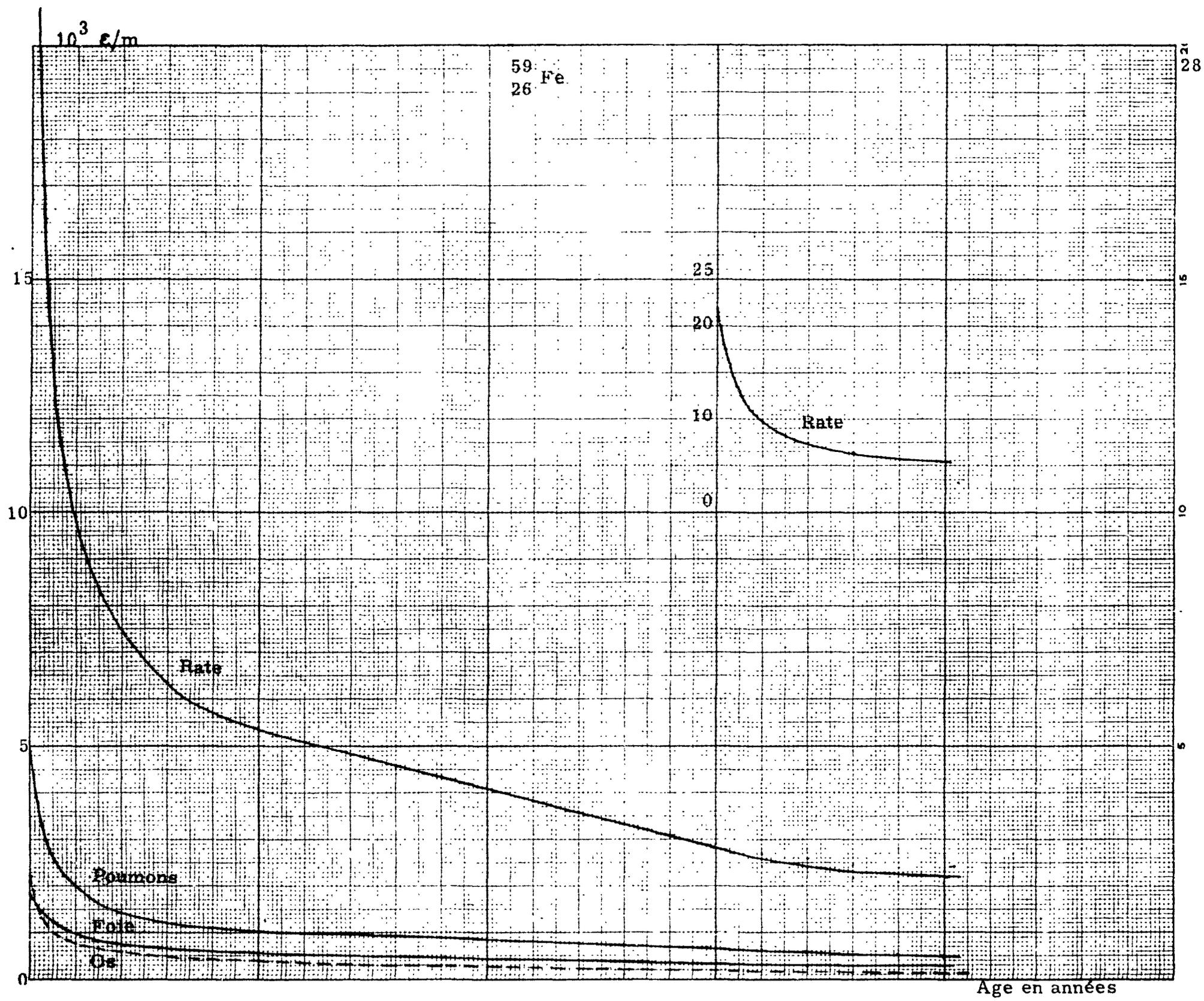


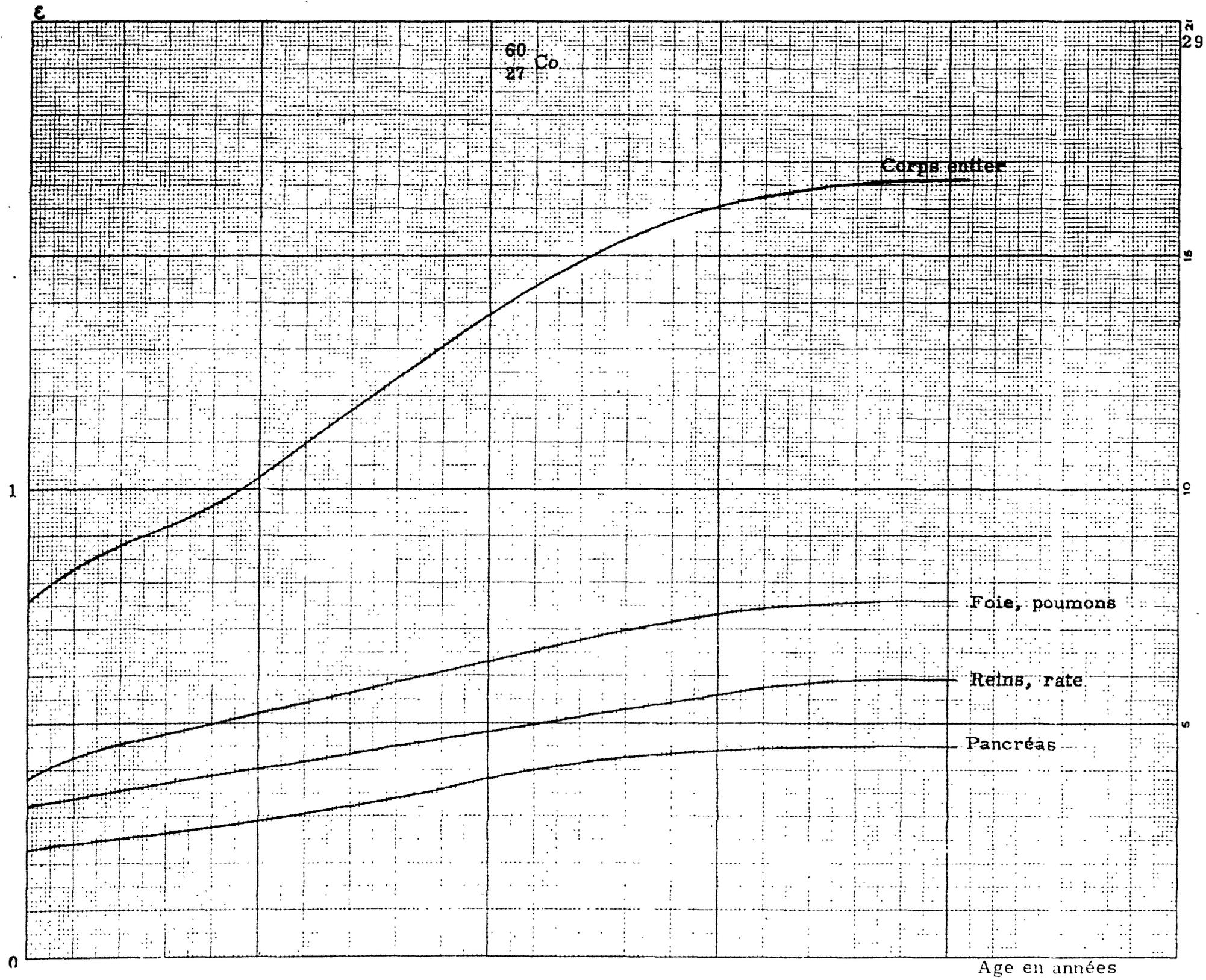


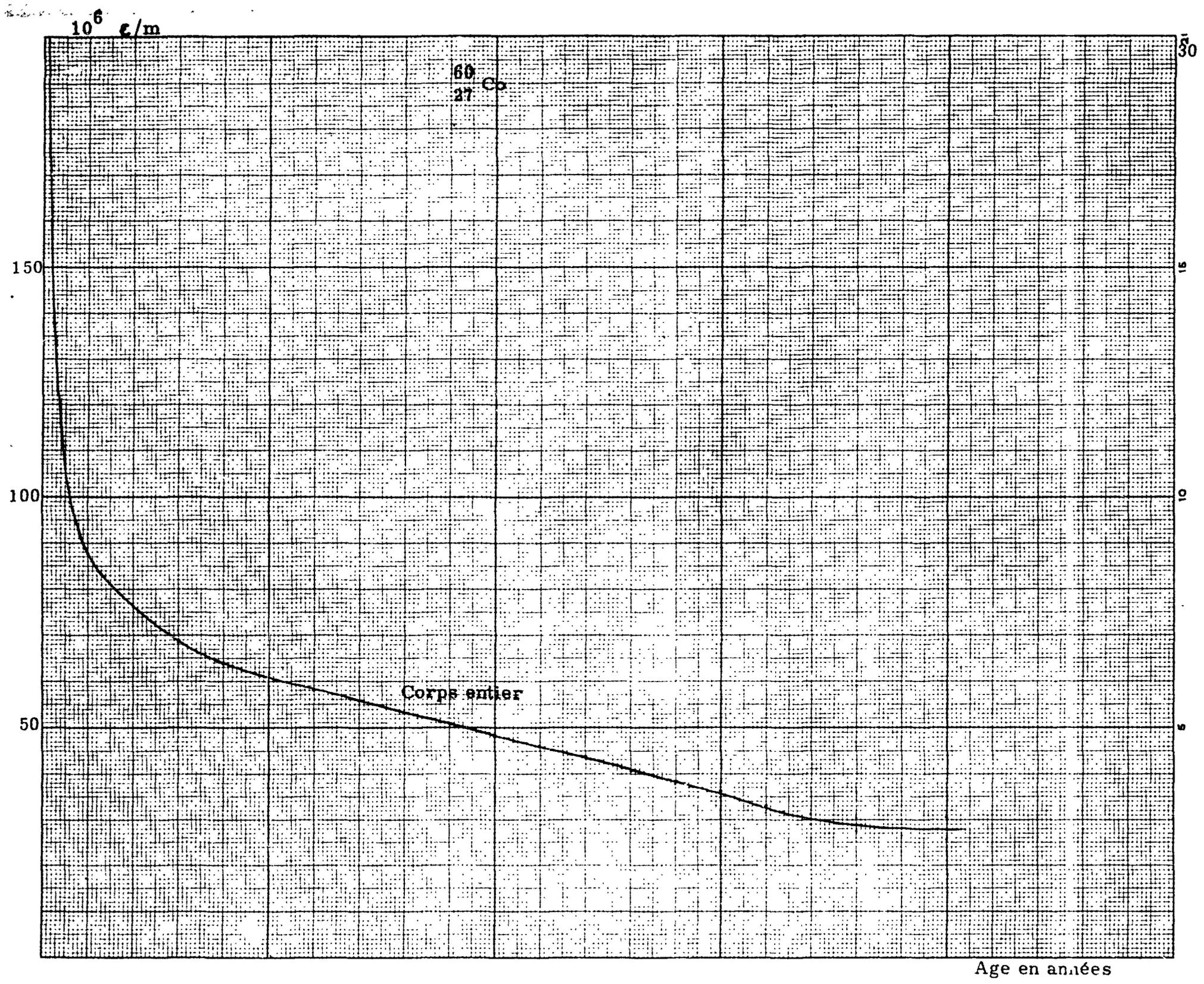










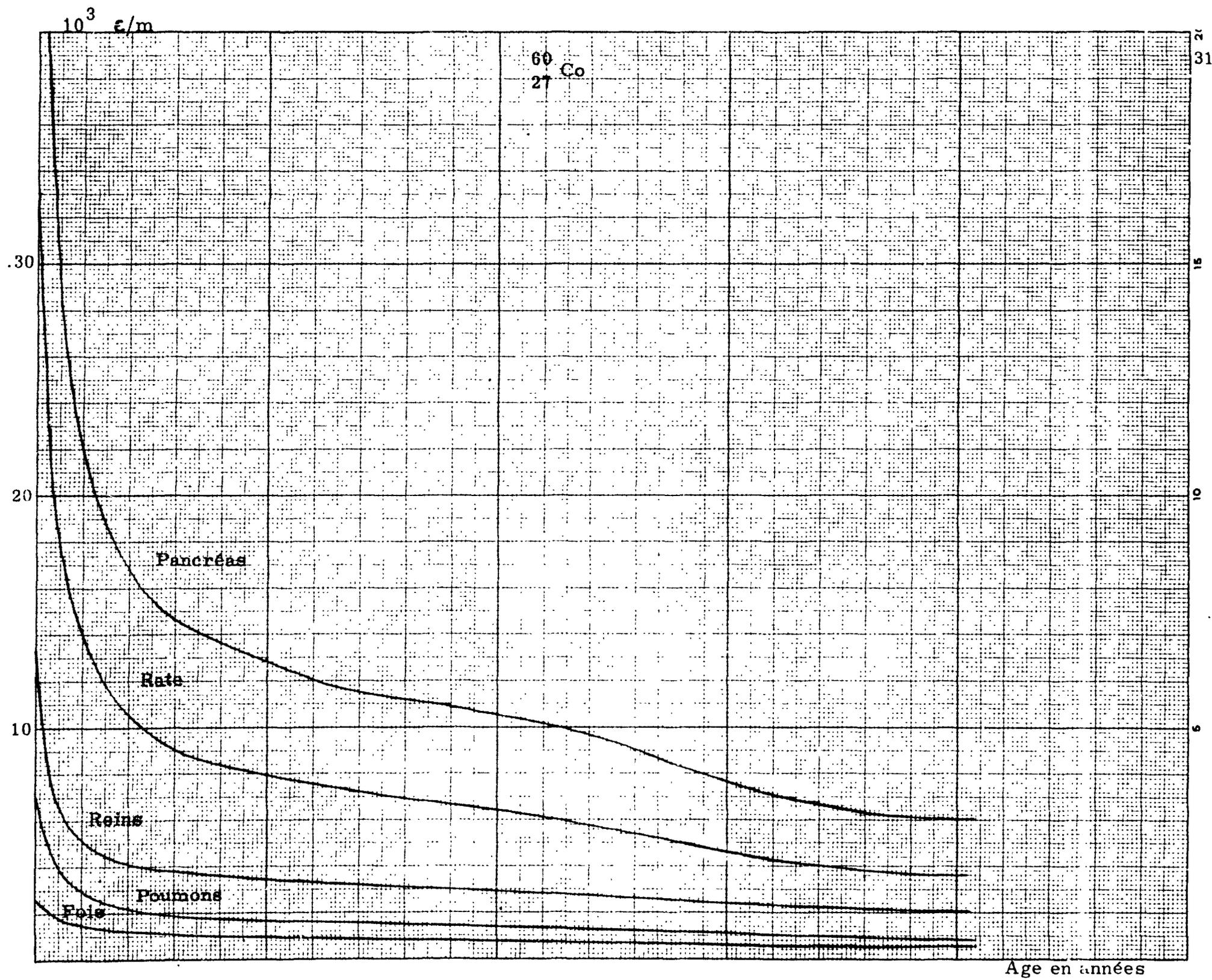


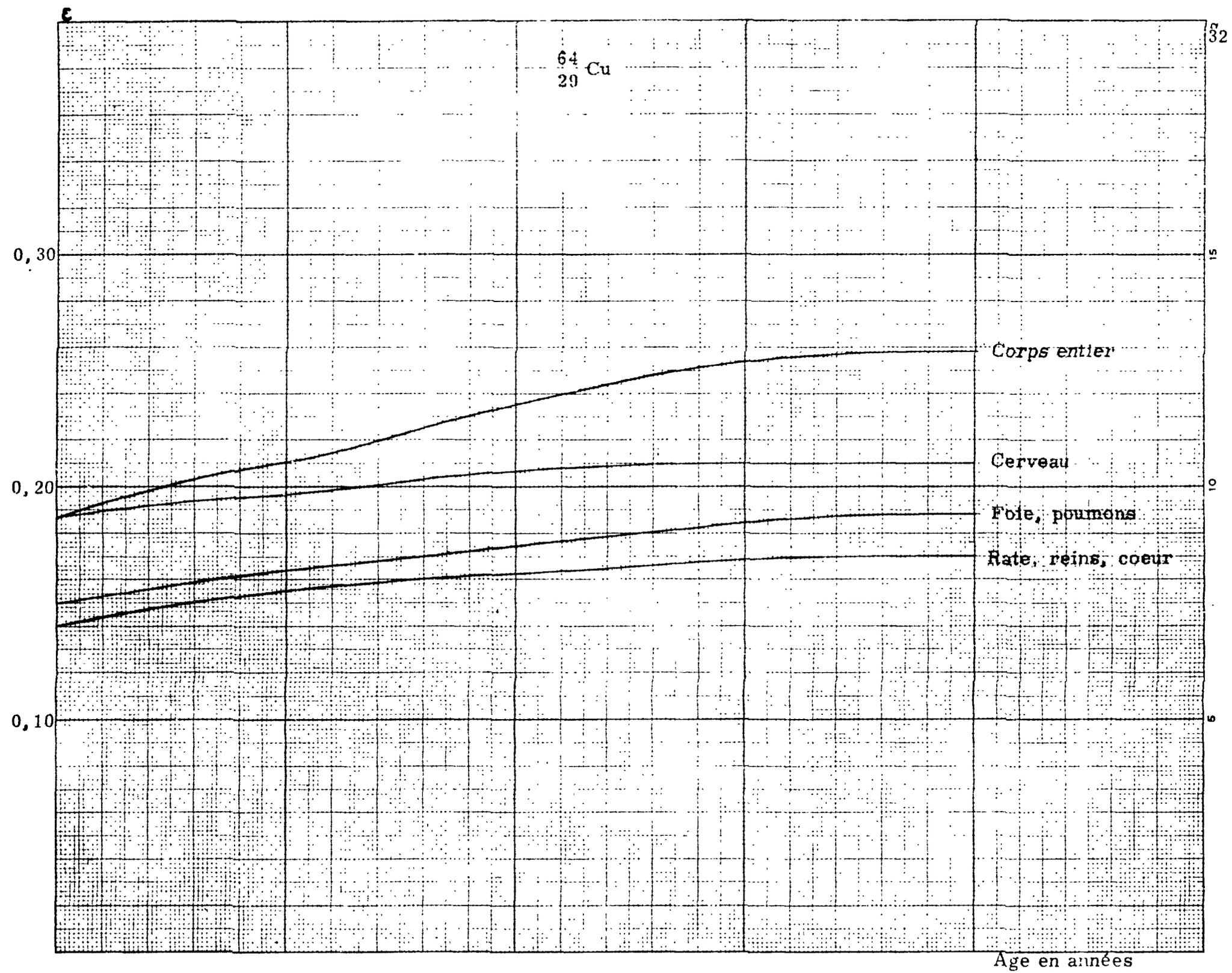
10^6 c/m

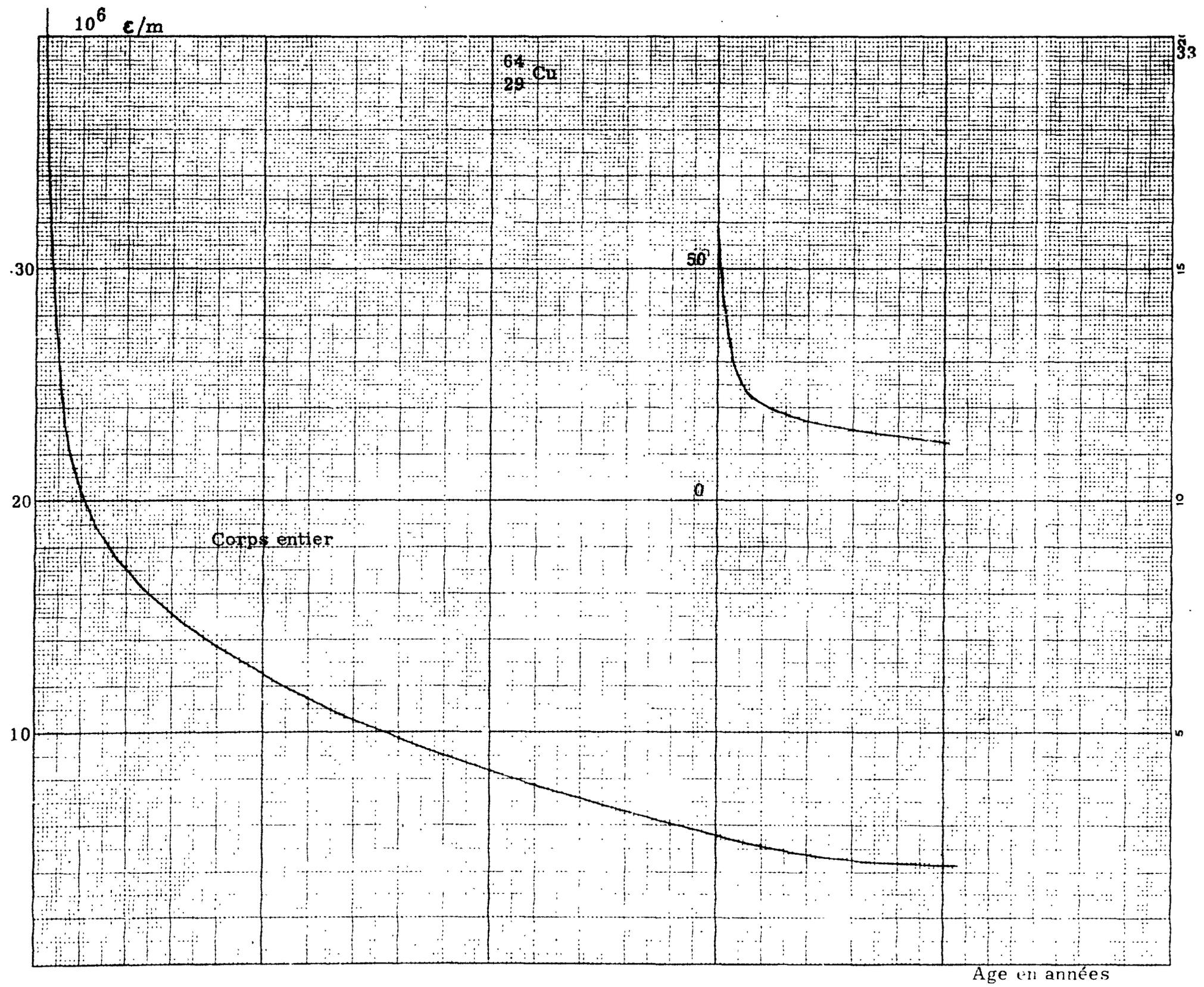
^{60}Co

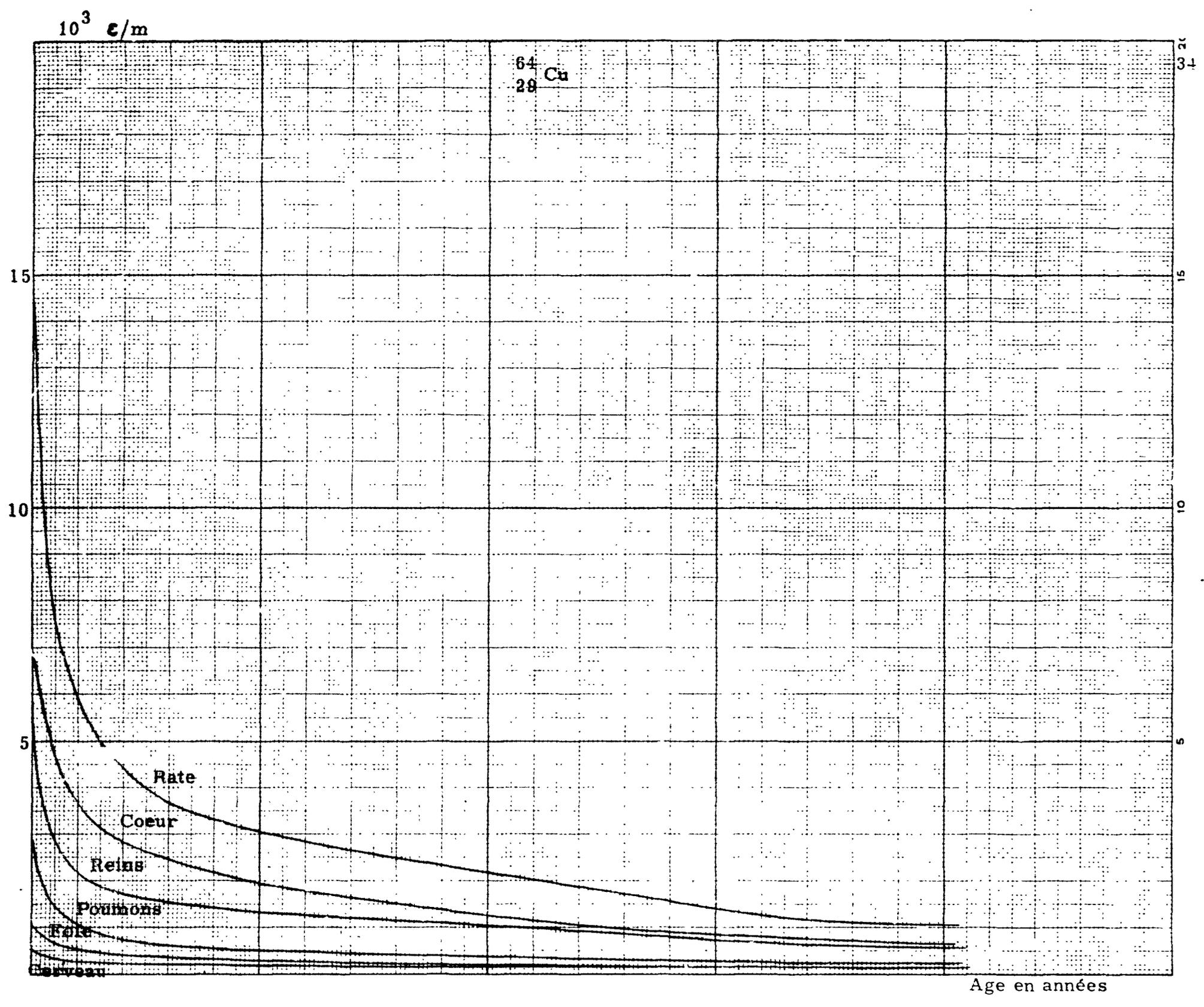
Corps entier

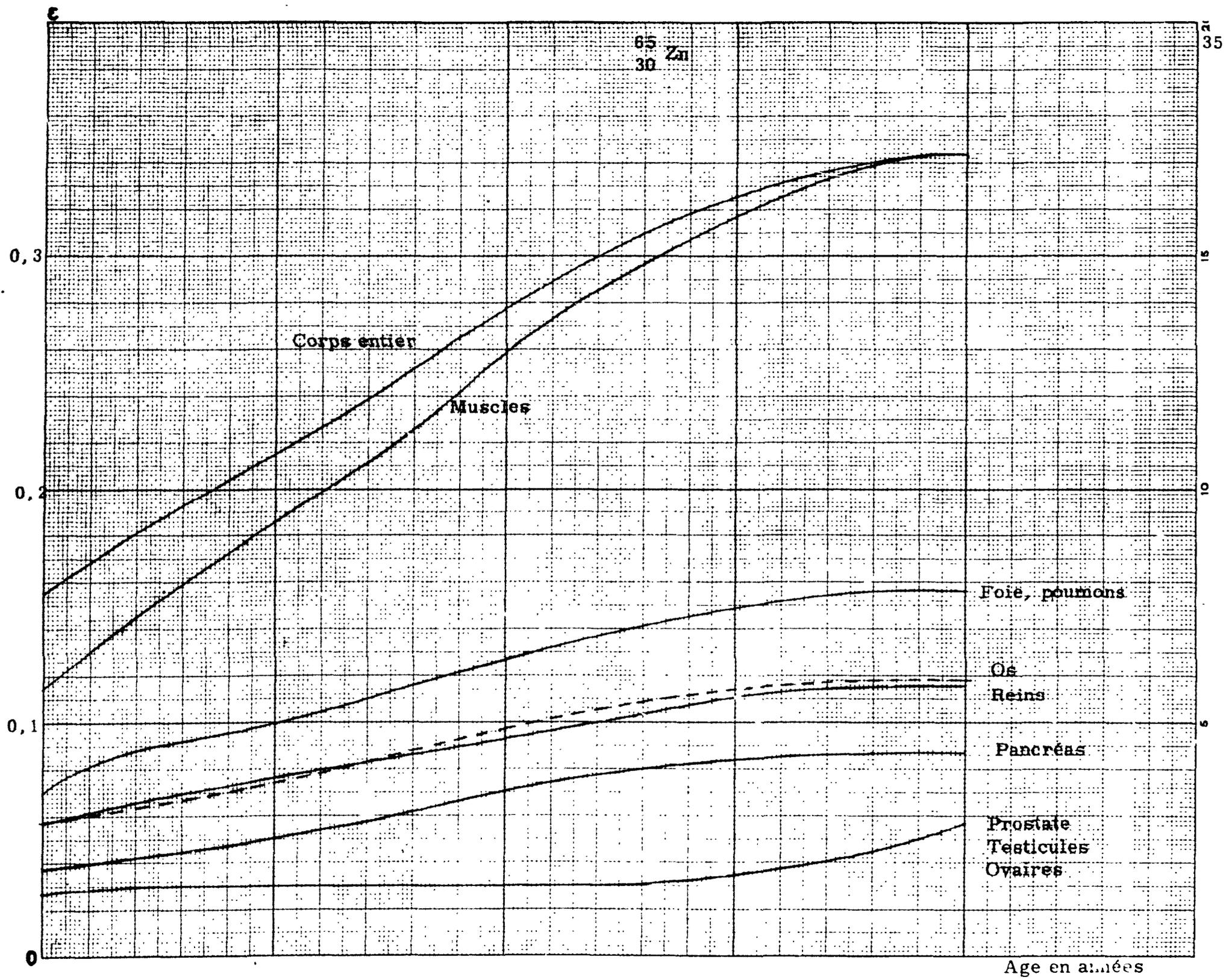
Age en années

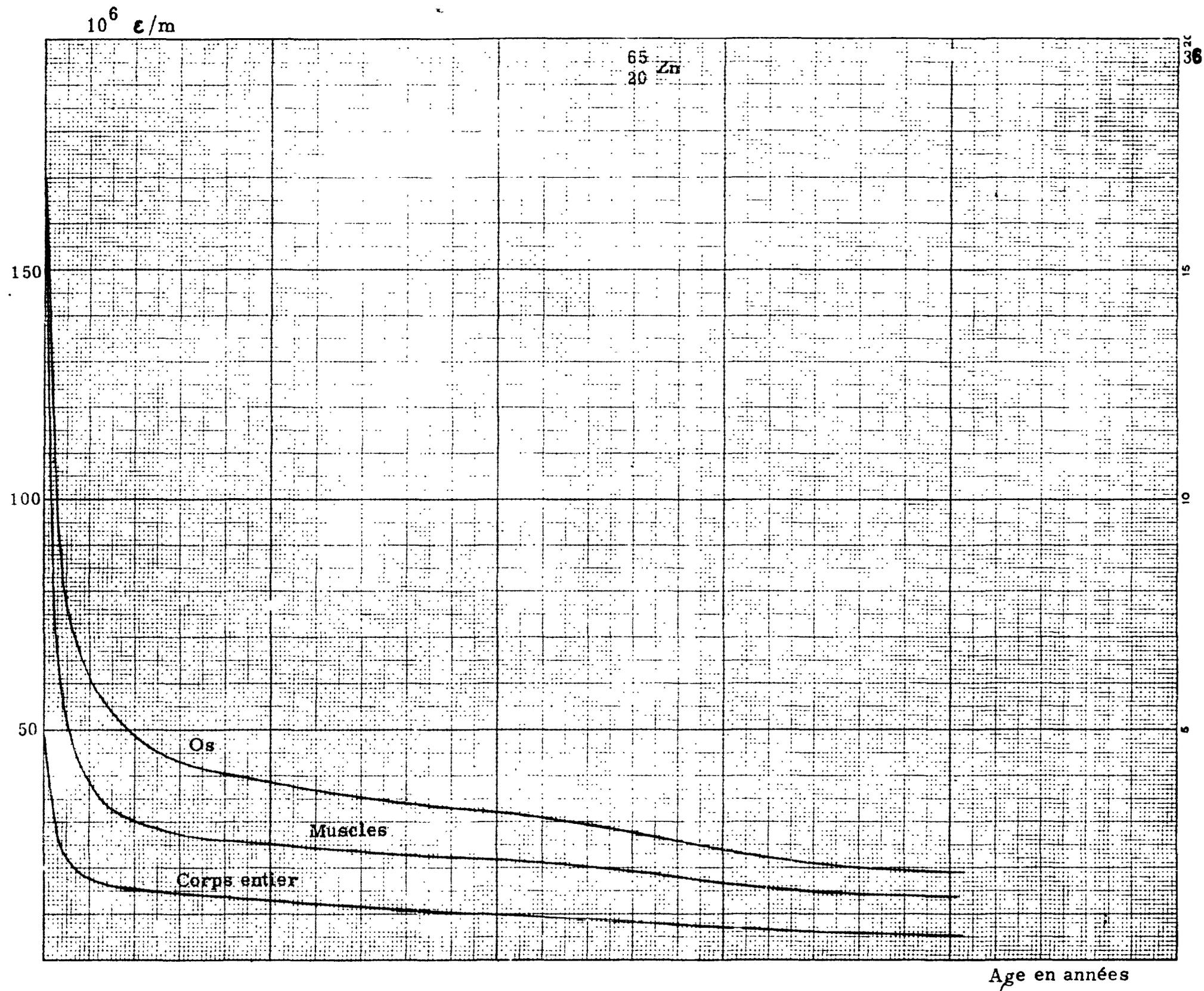


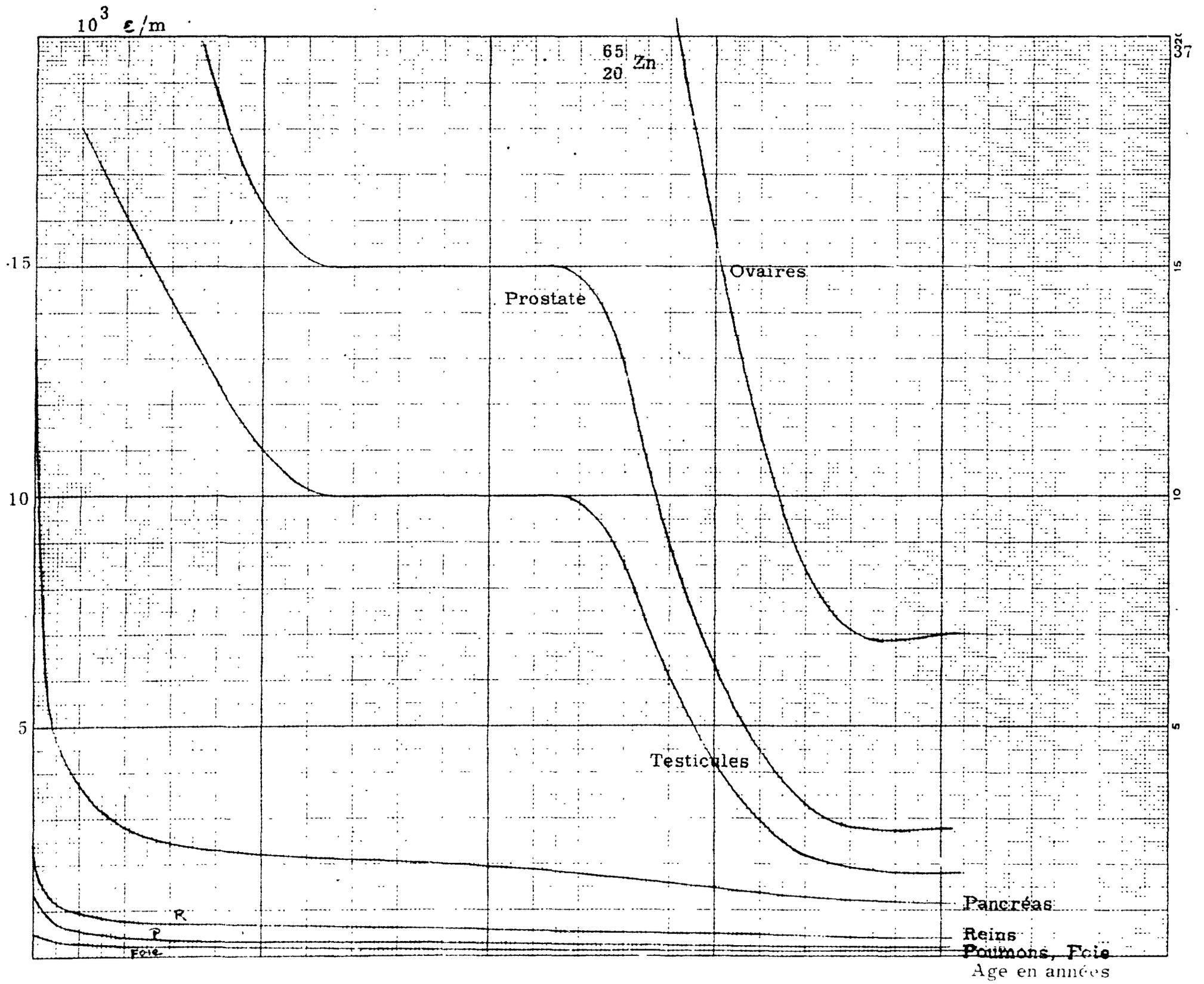


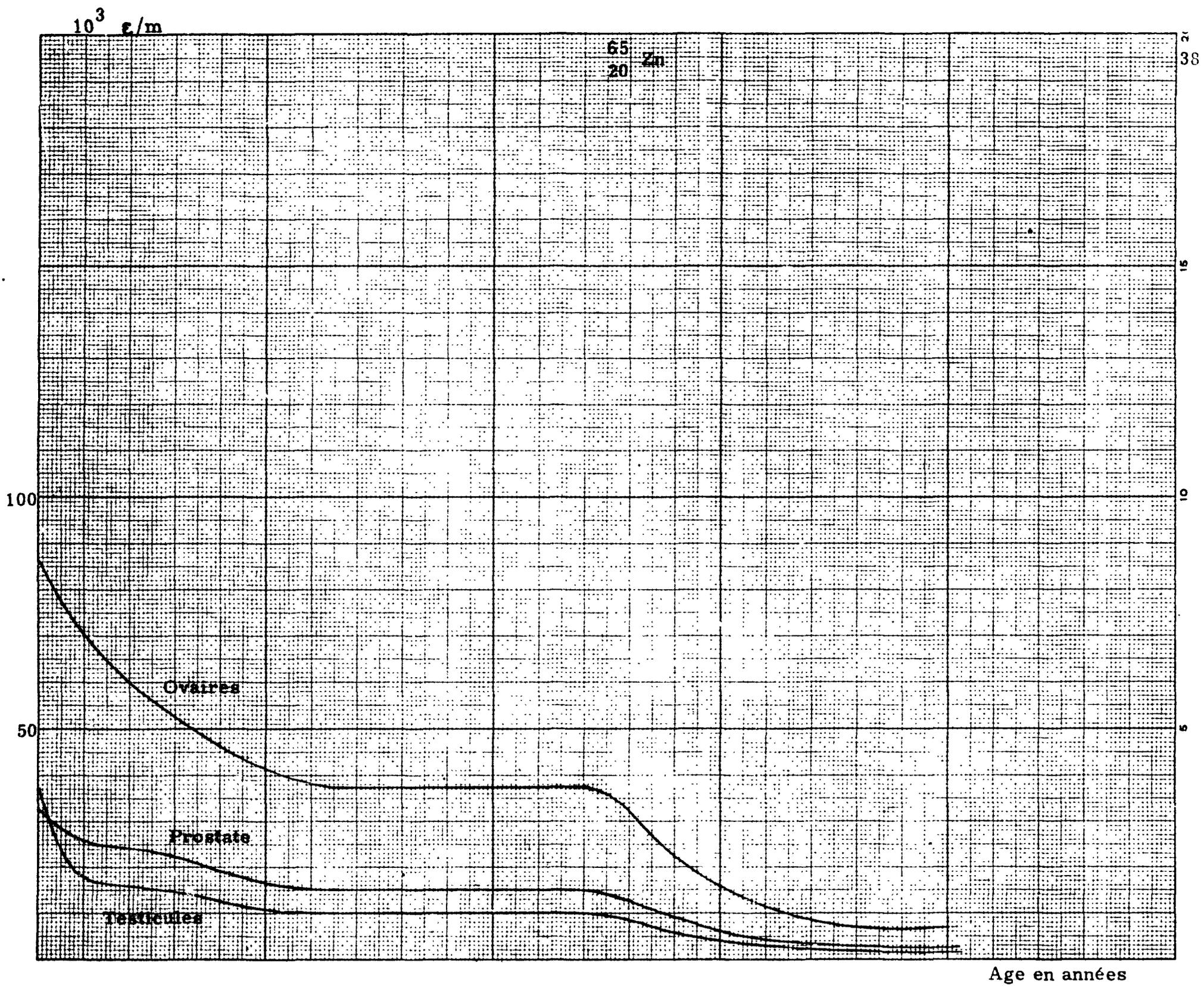


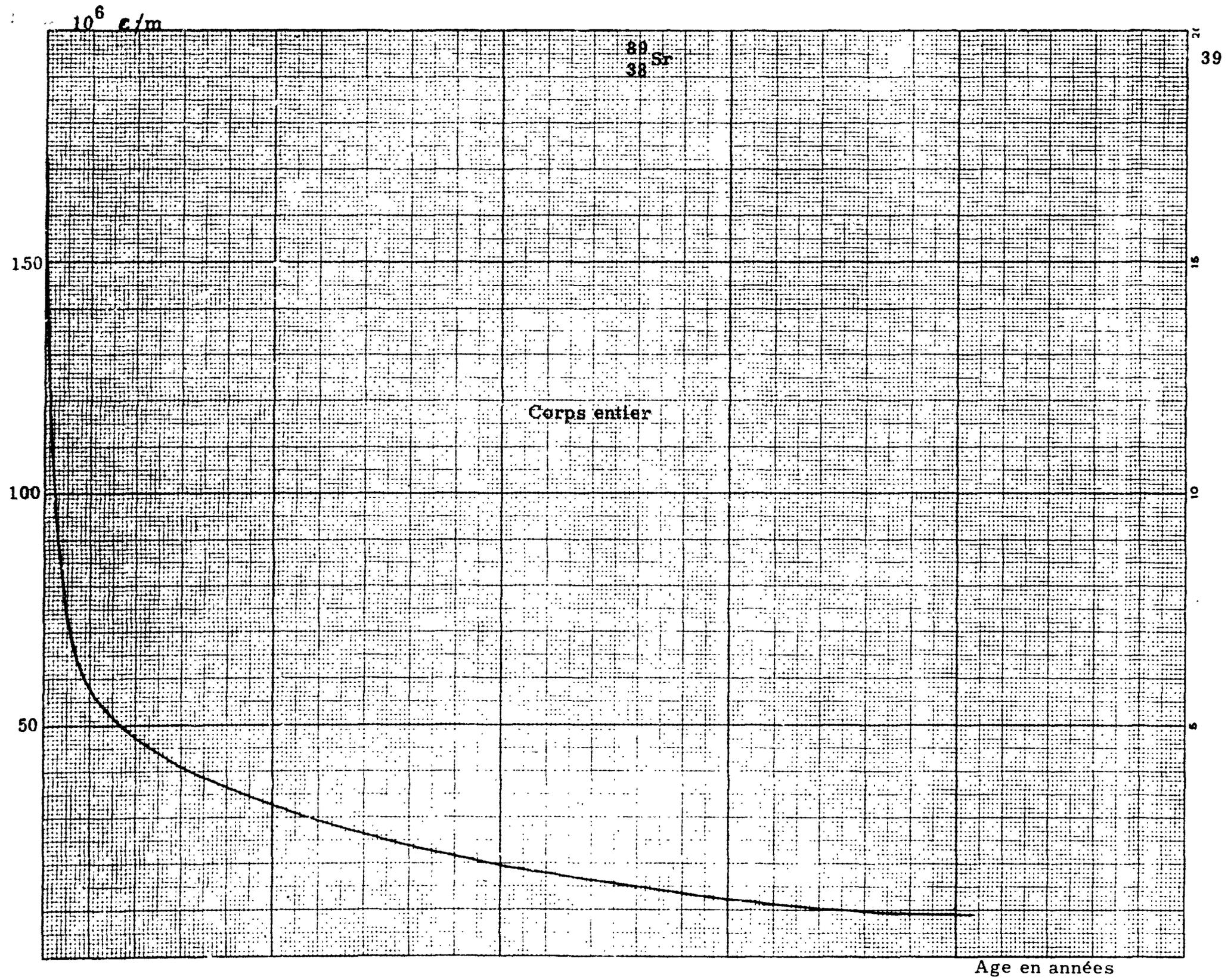


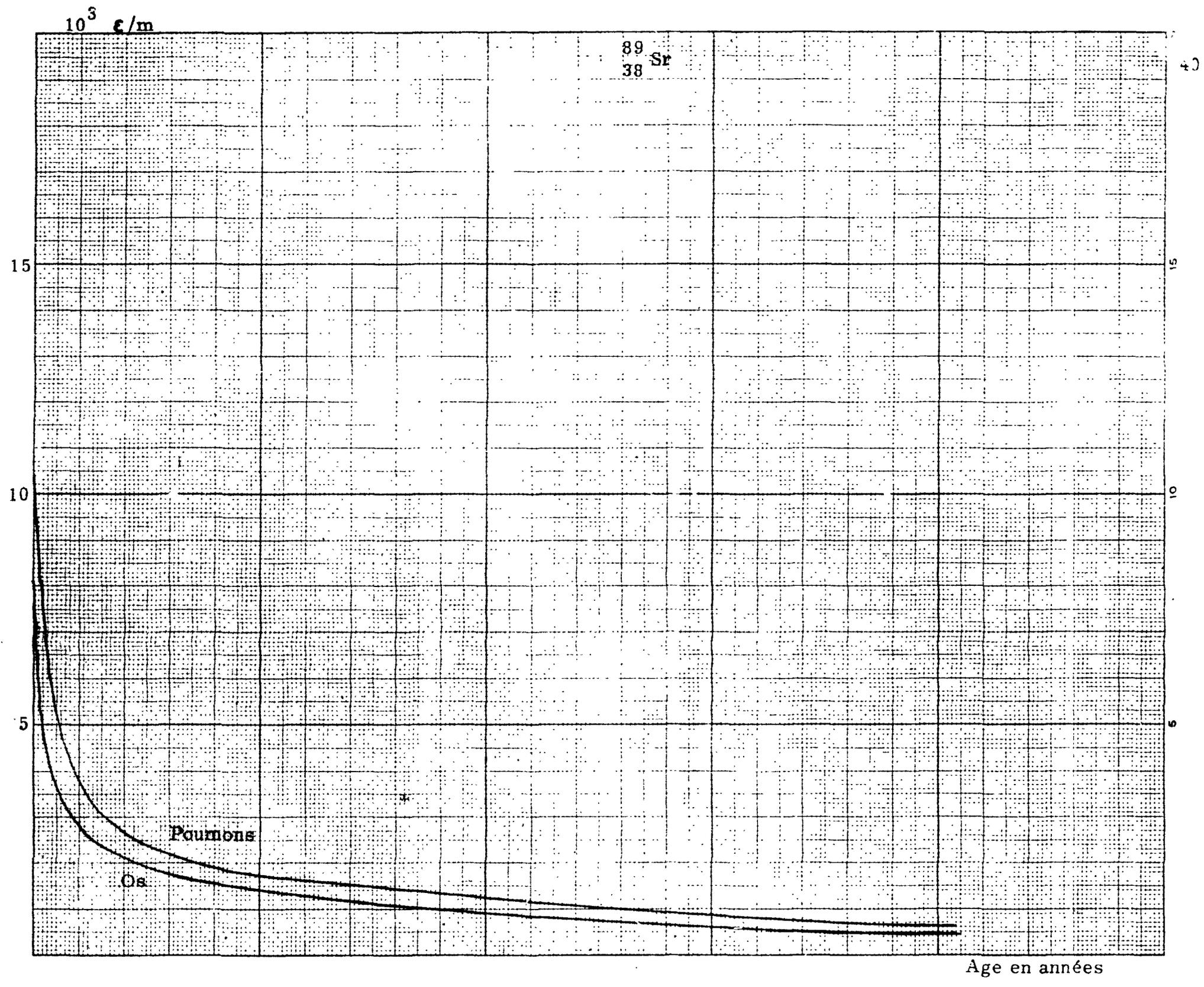


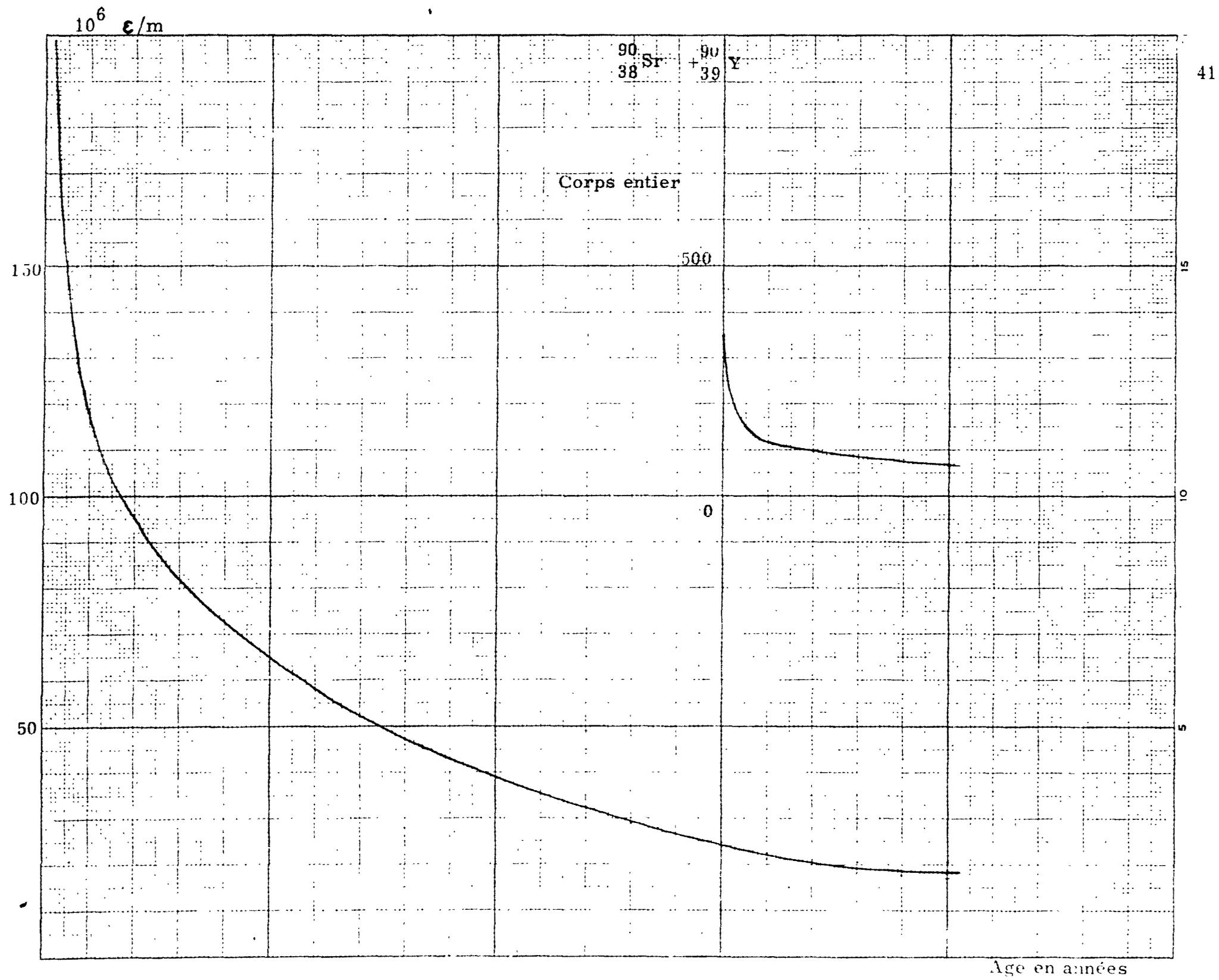


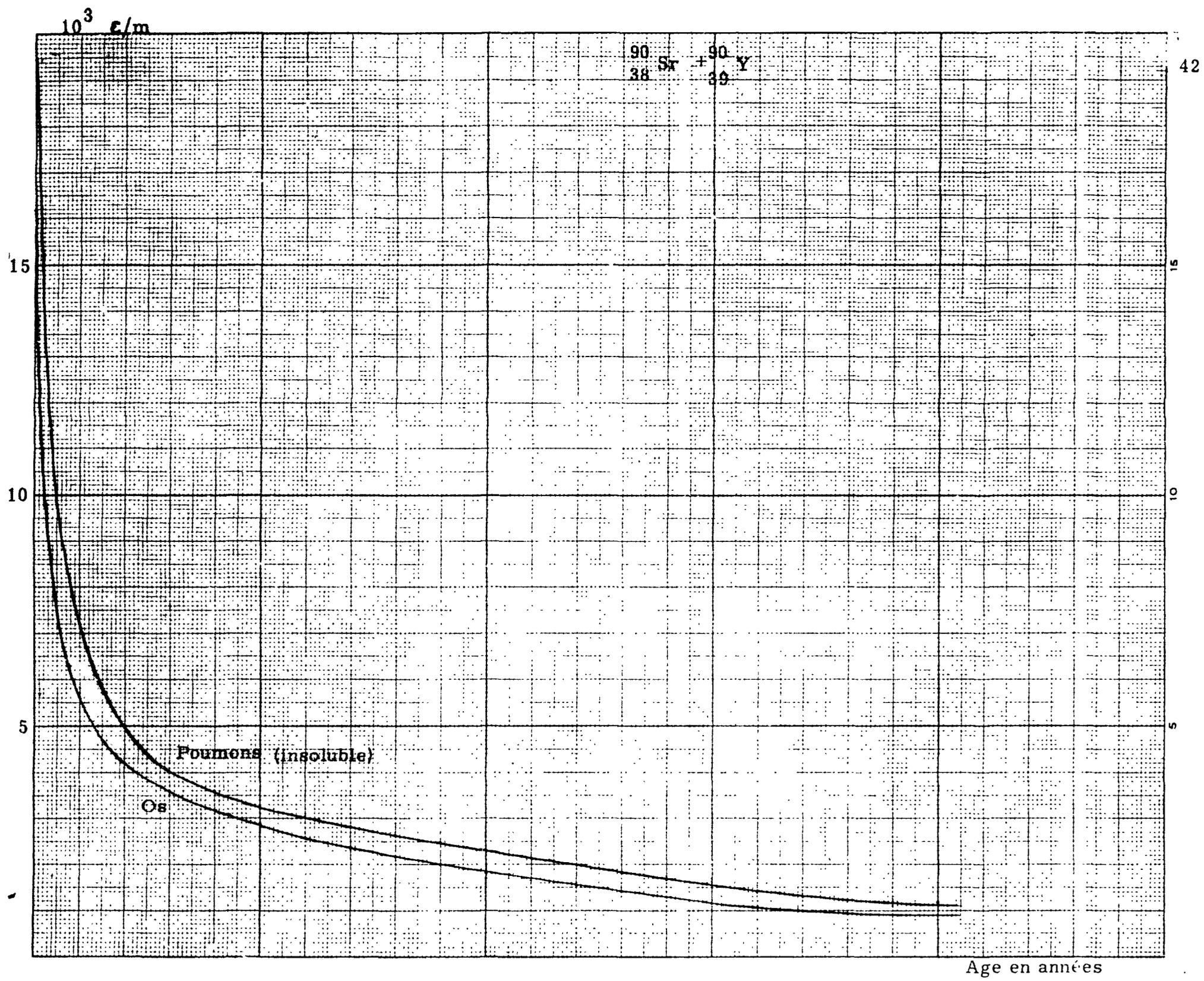


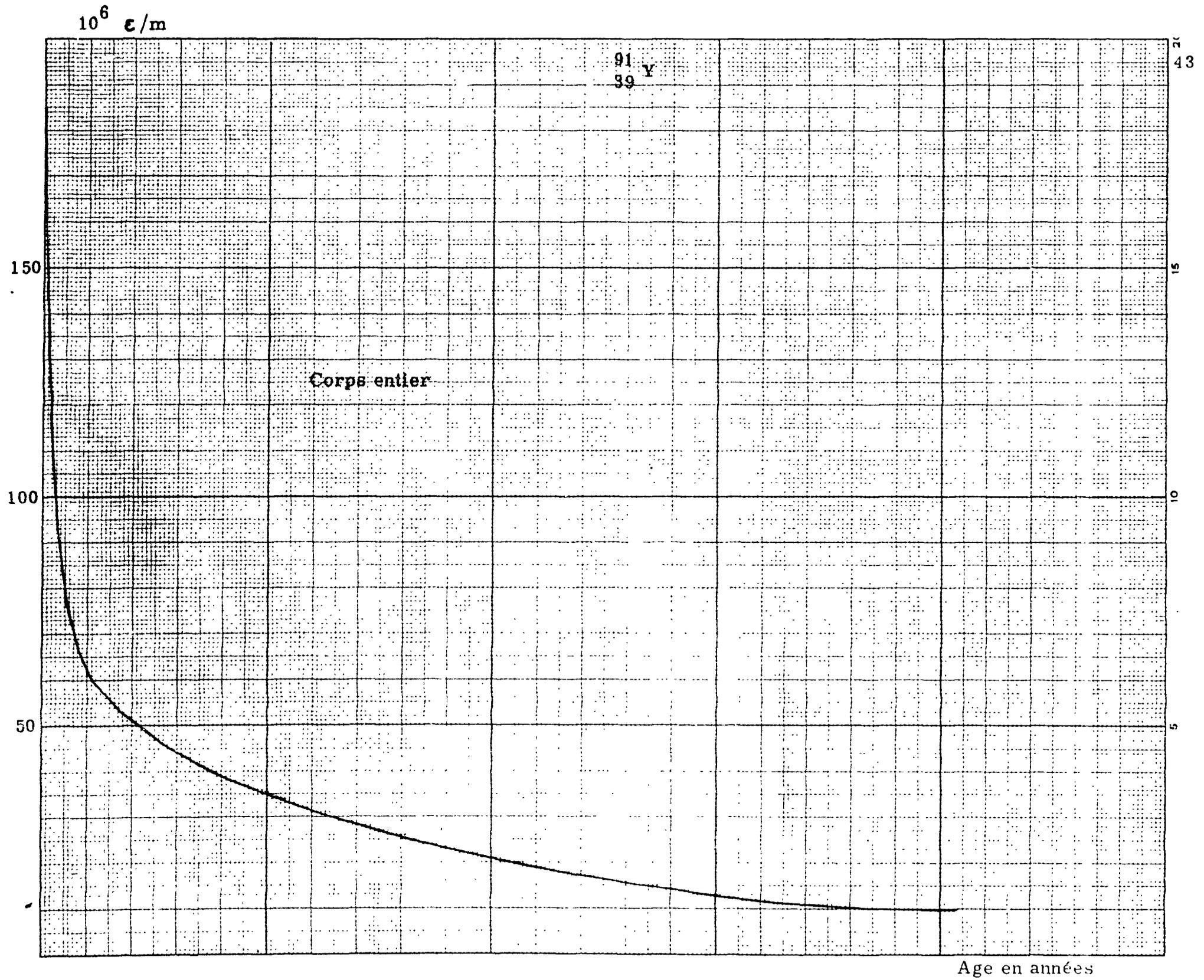


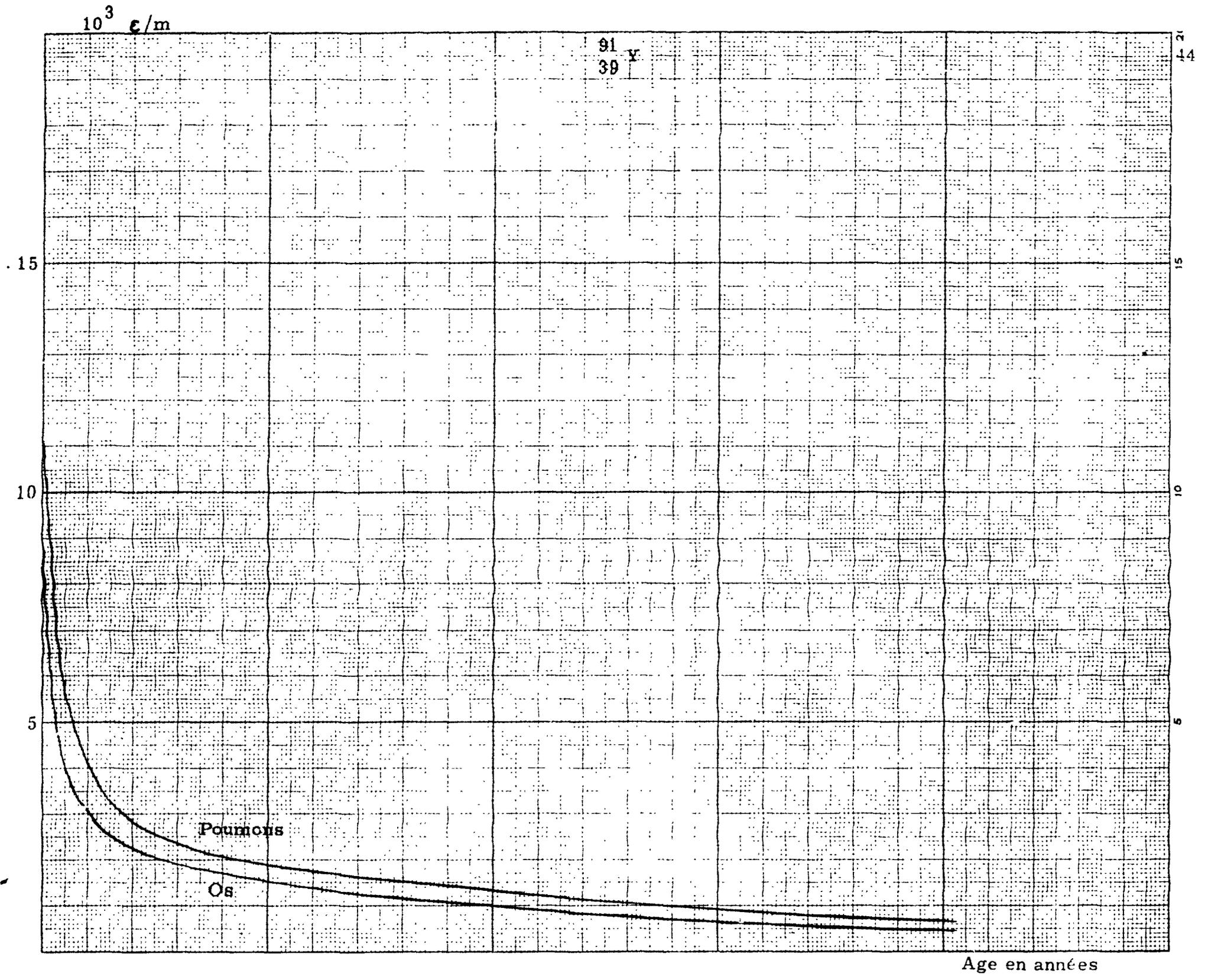


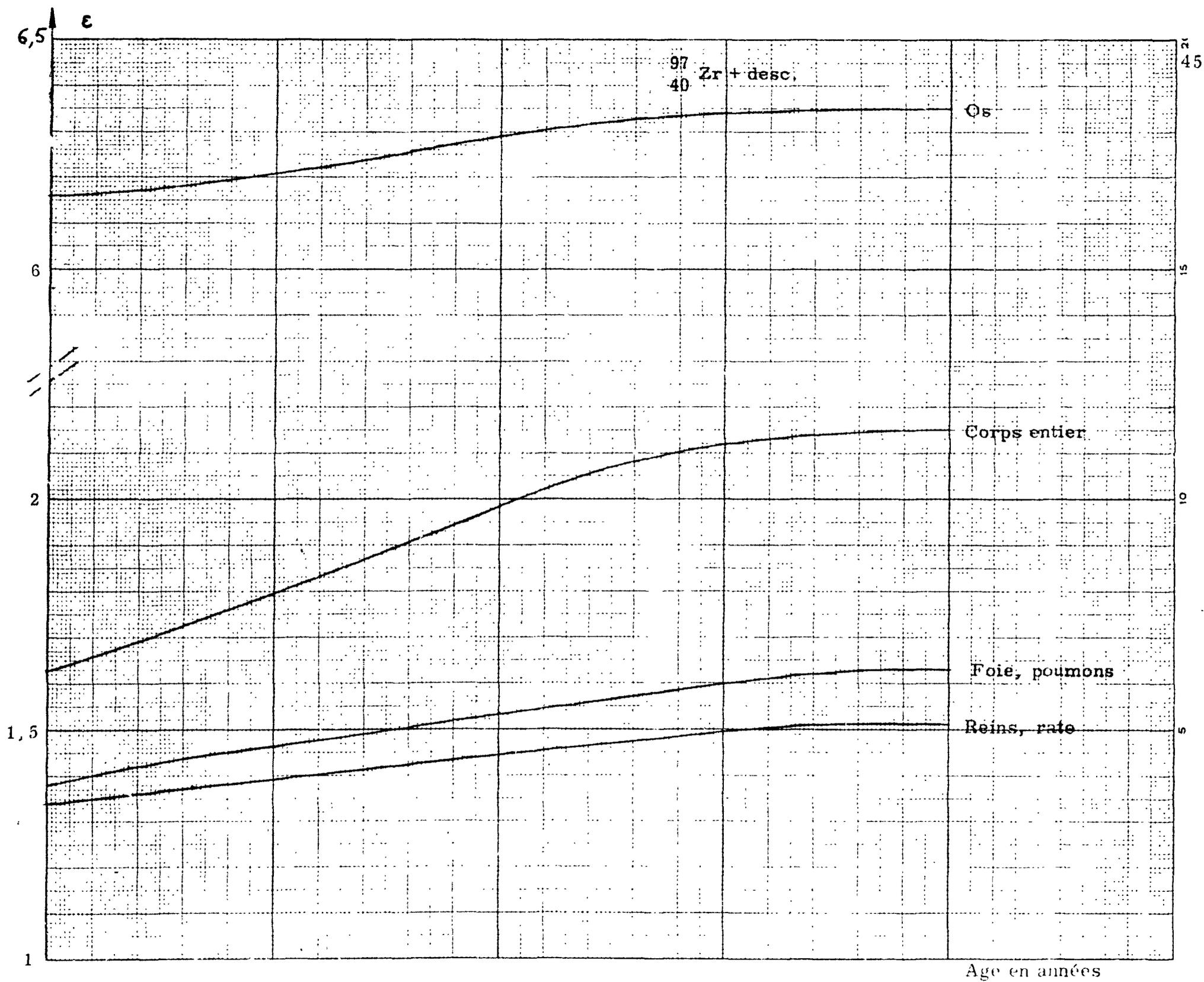


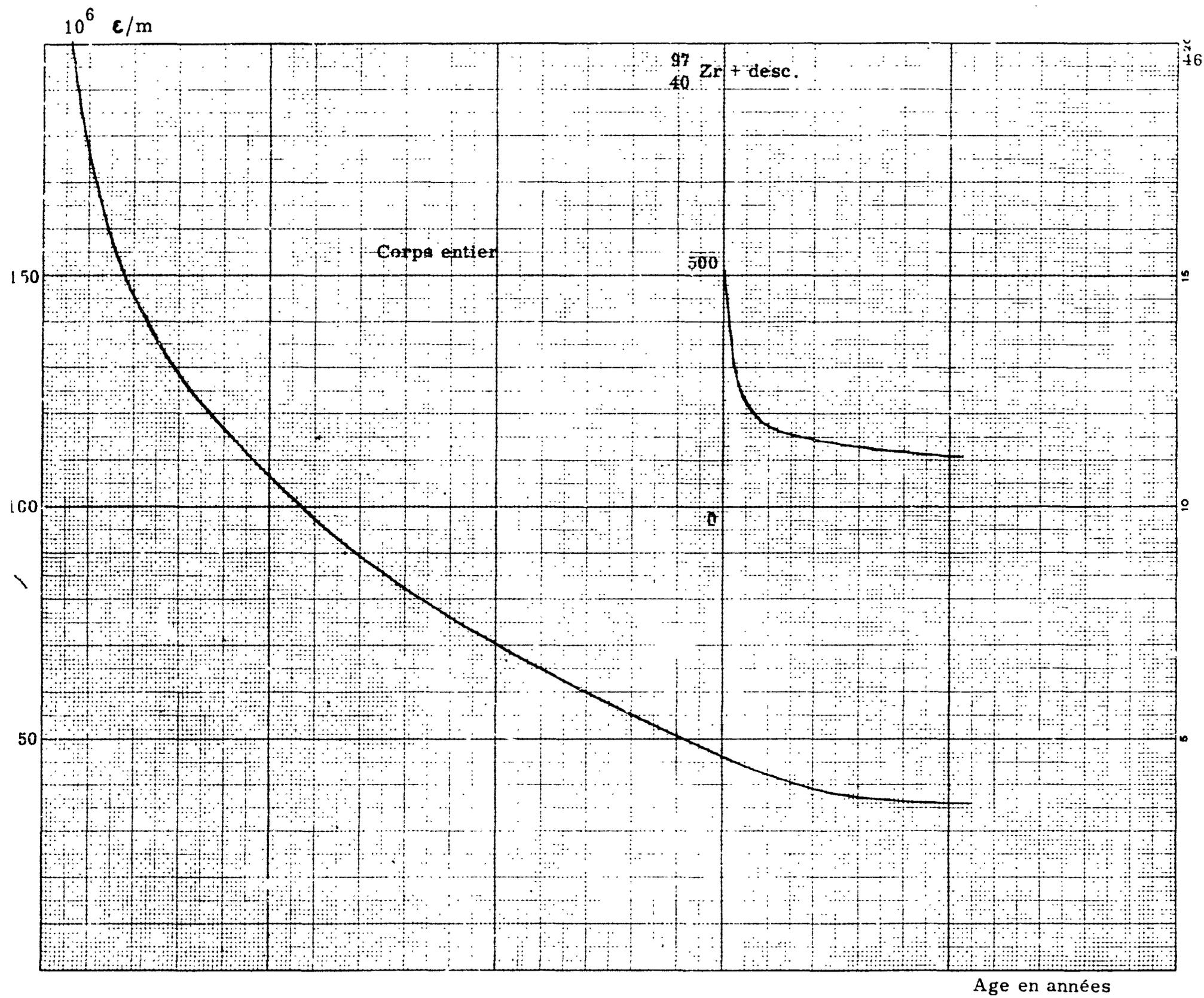


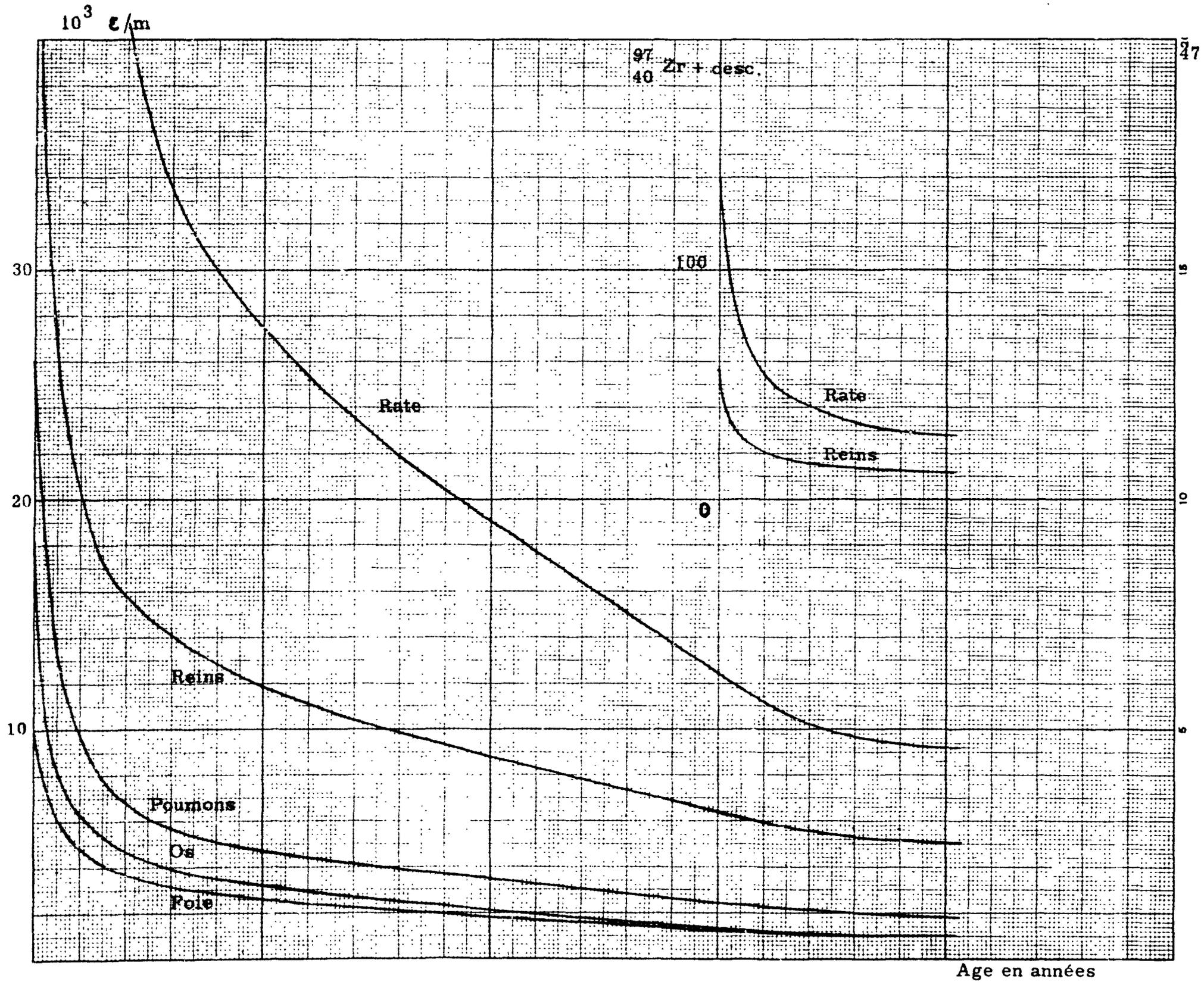


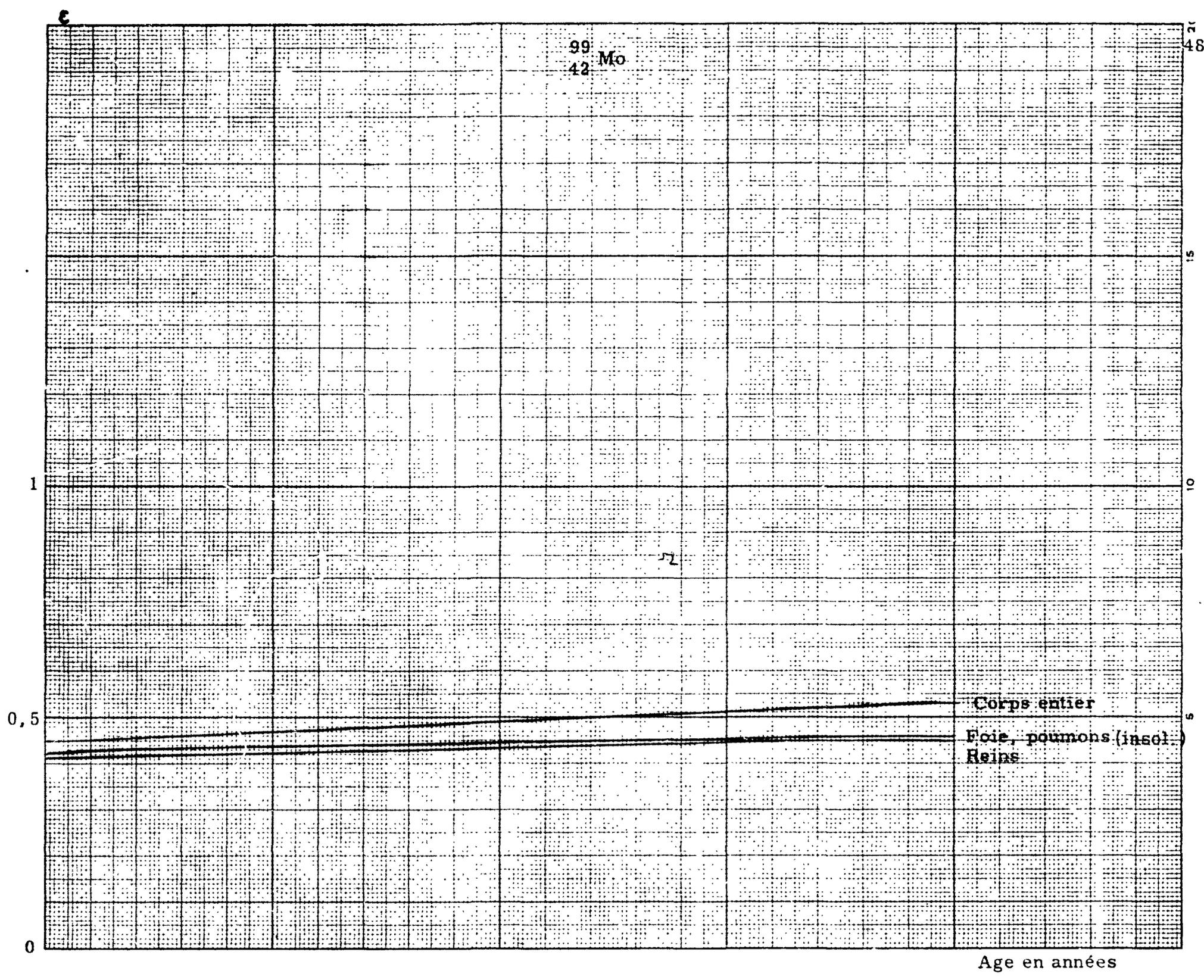


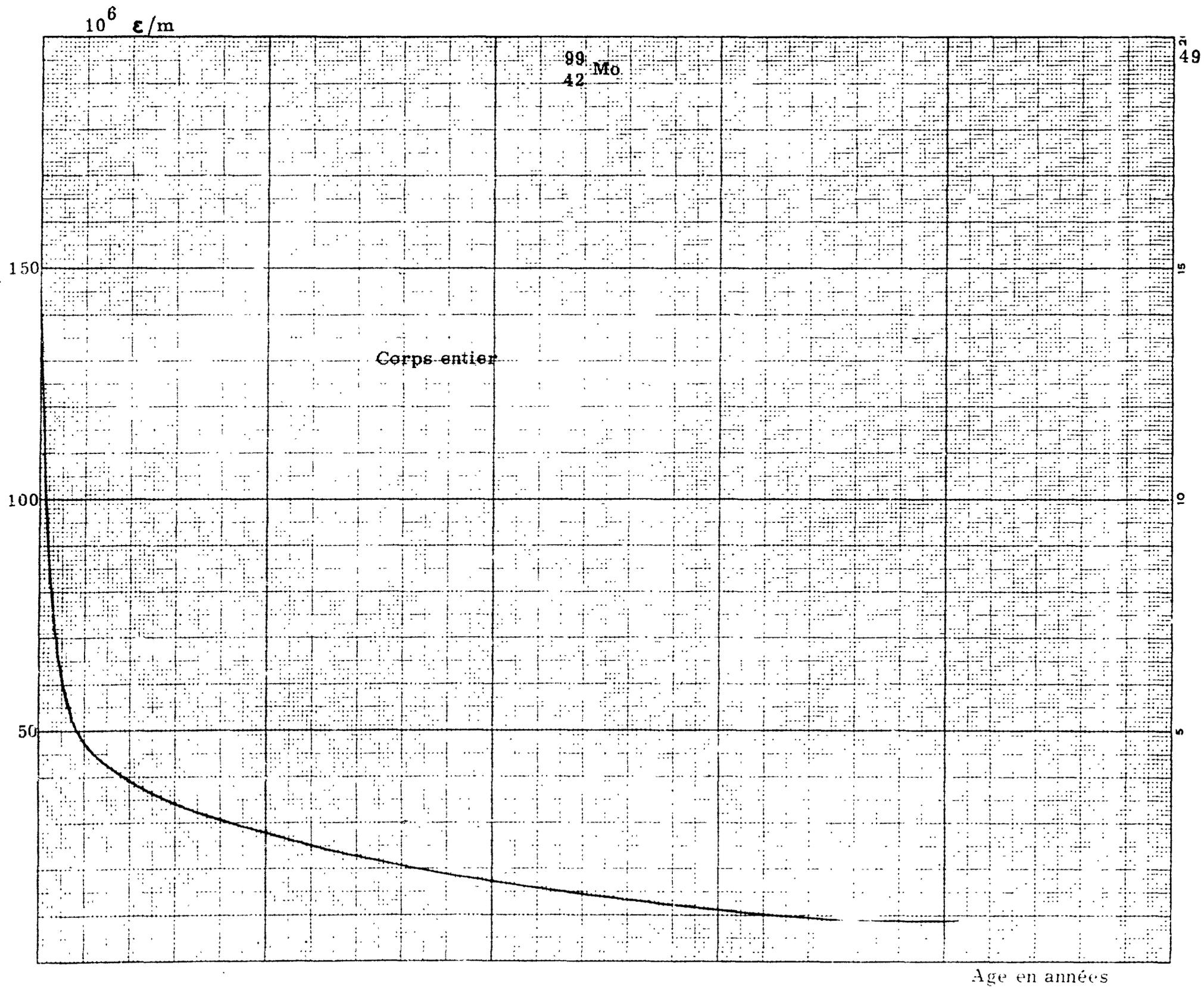


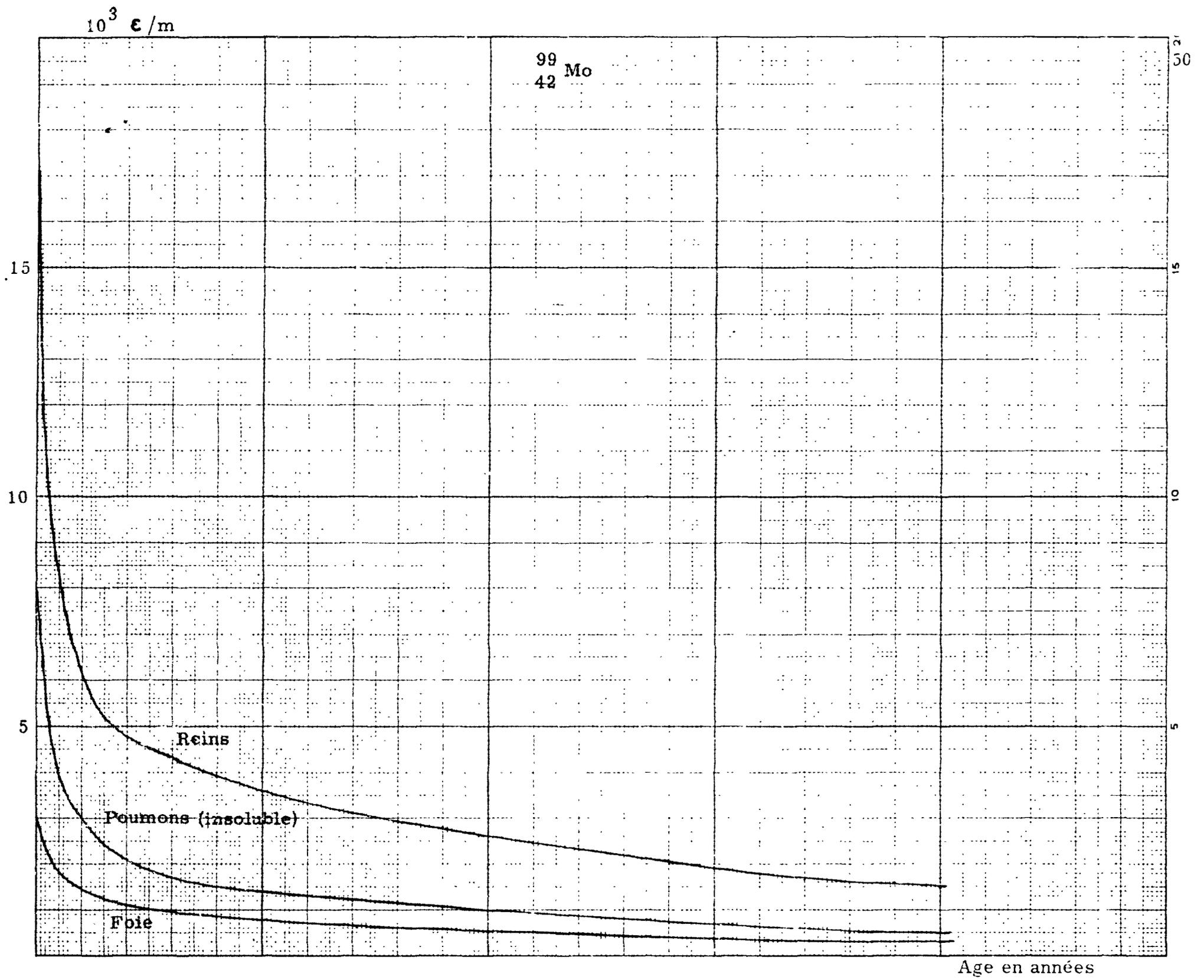






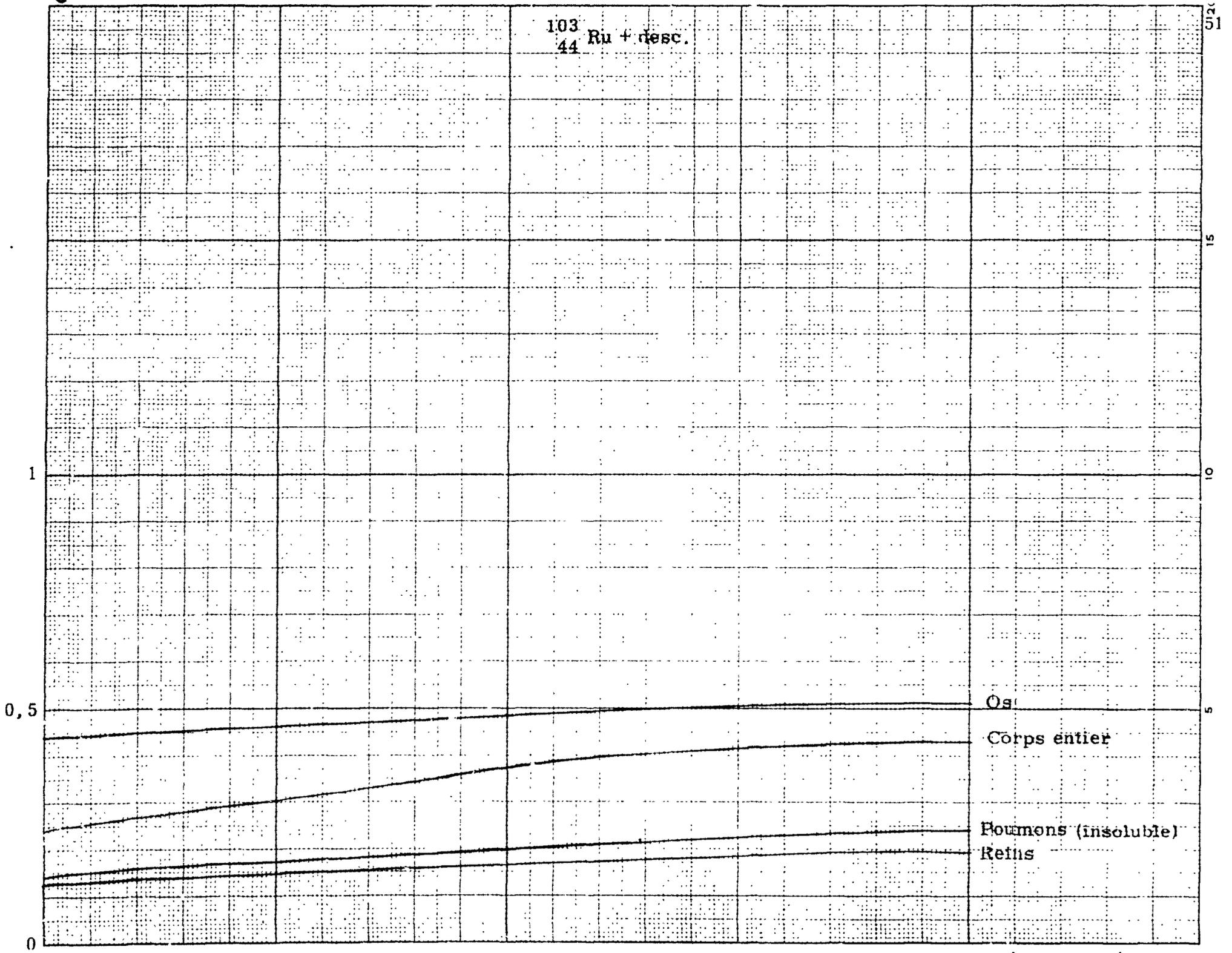




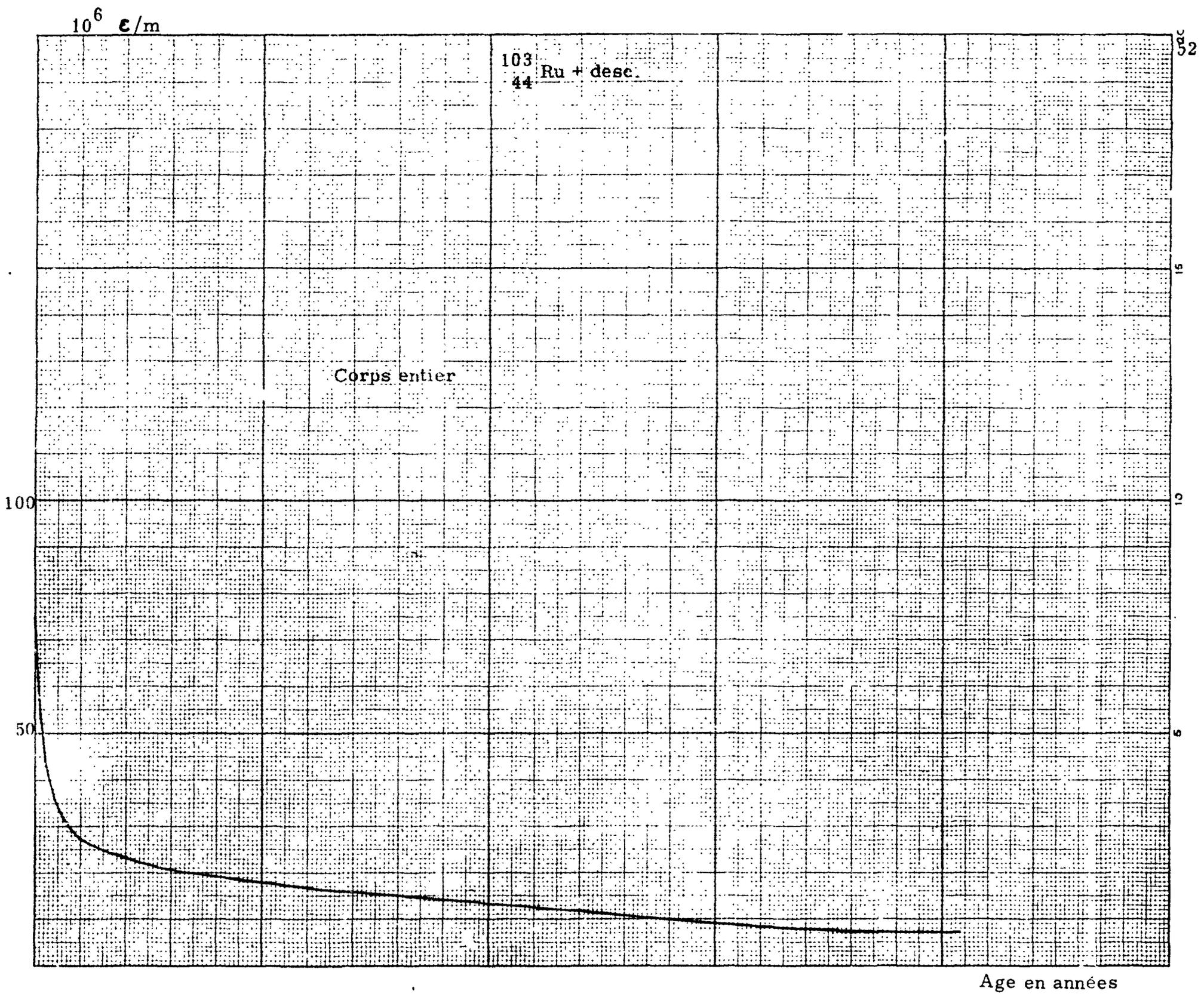


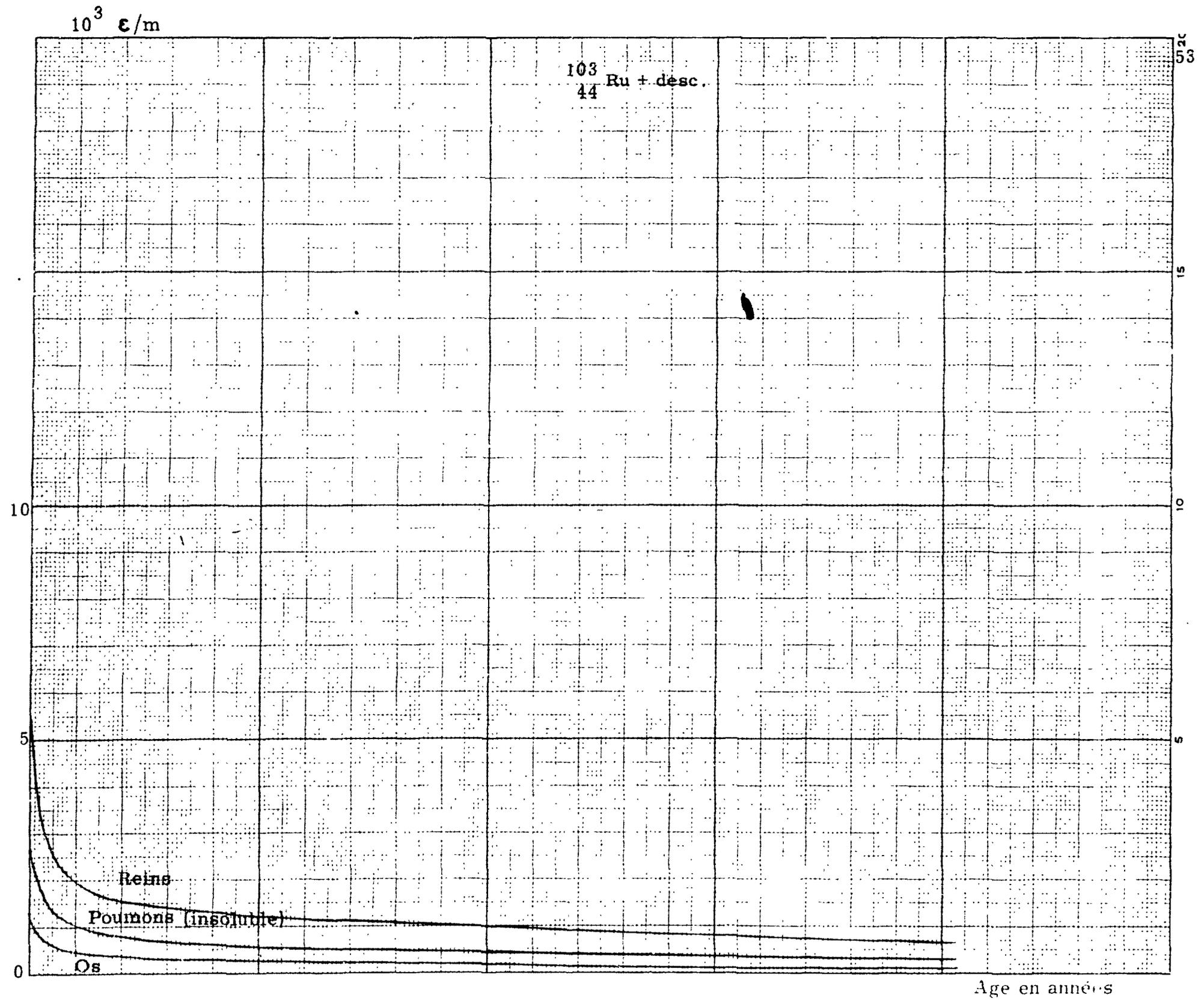
c

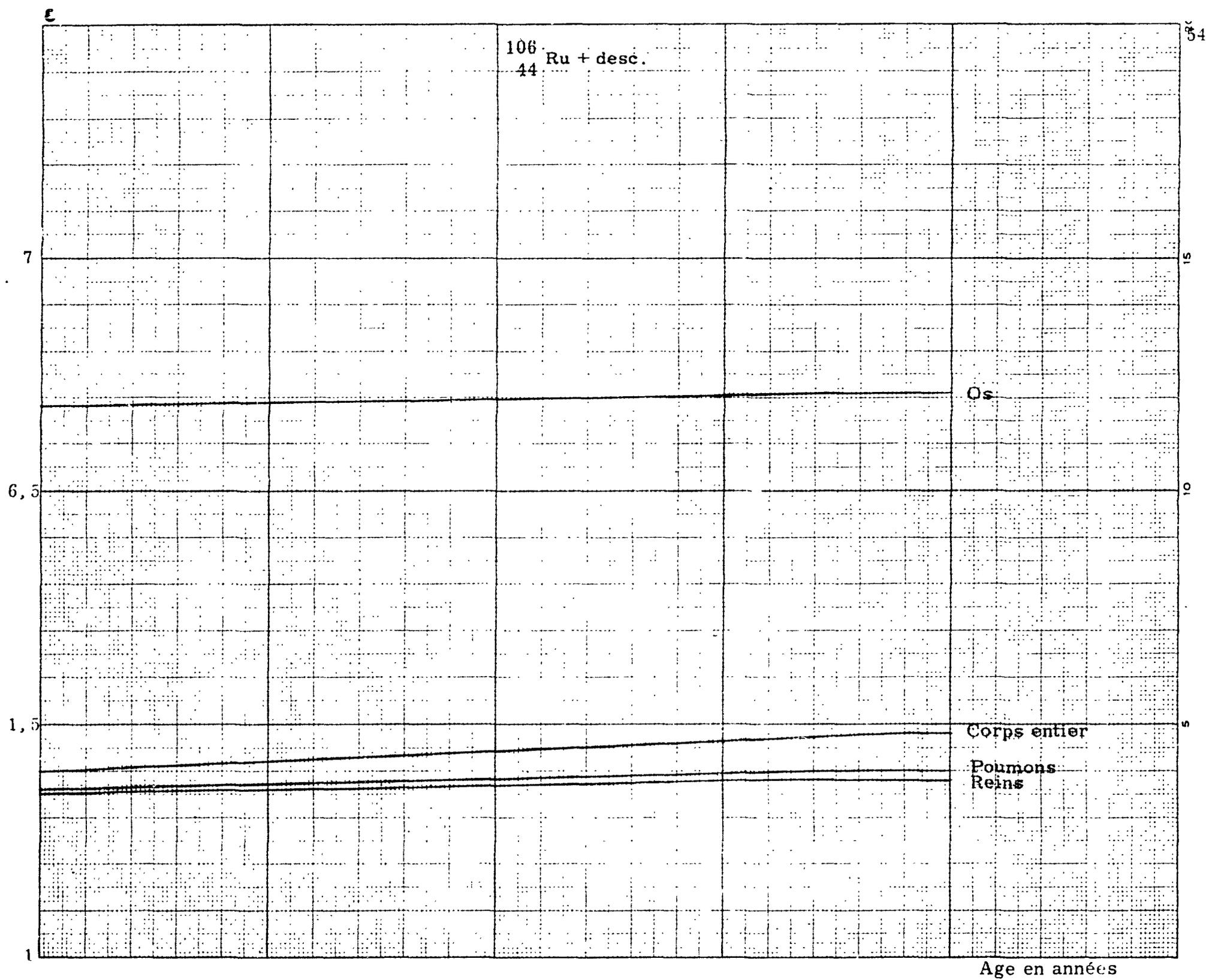
$^{103}_{44}\text{Ru} + \text{desc.}$

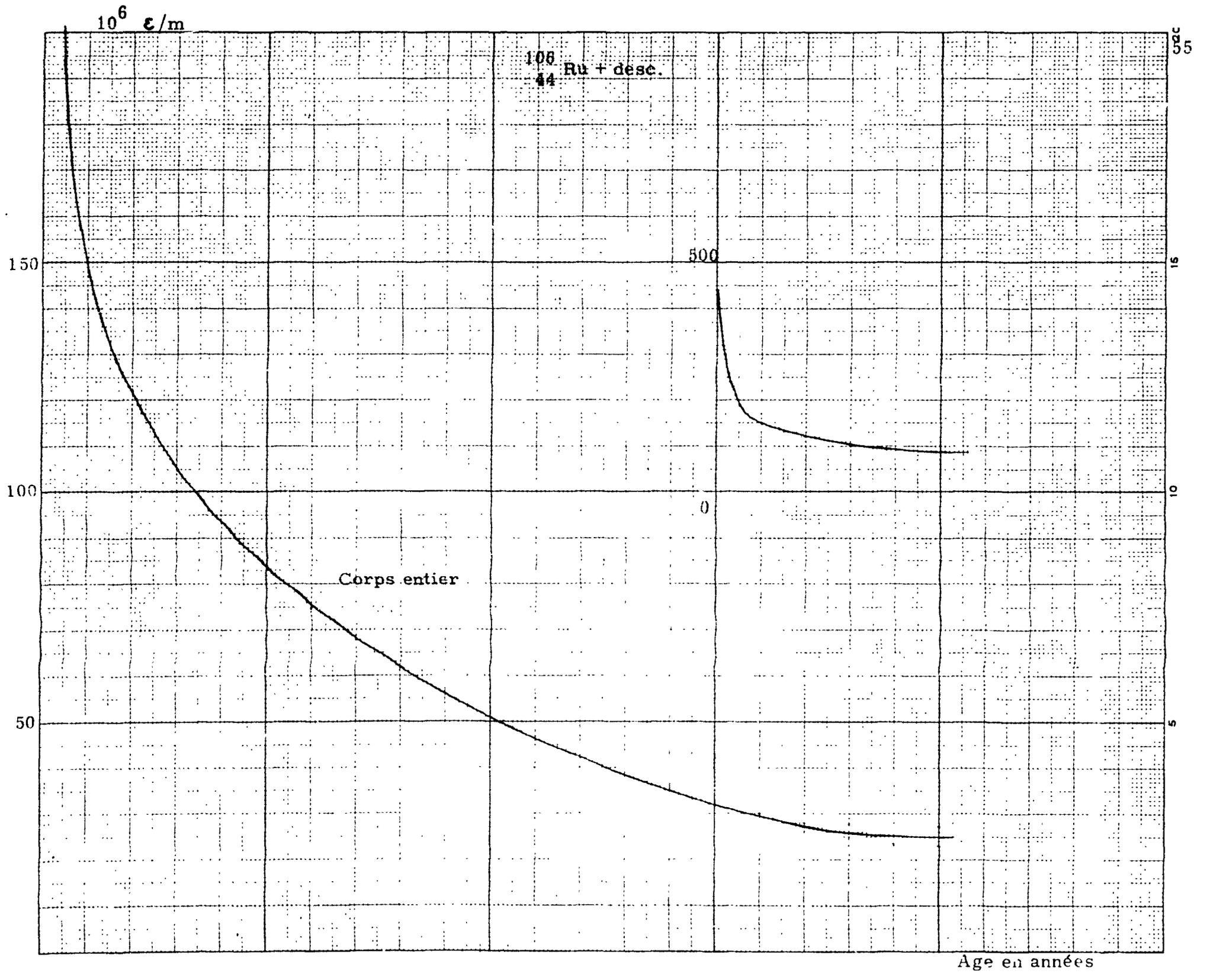


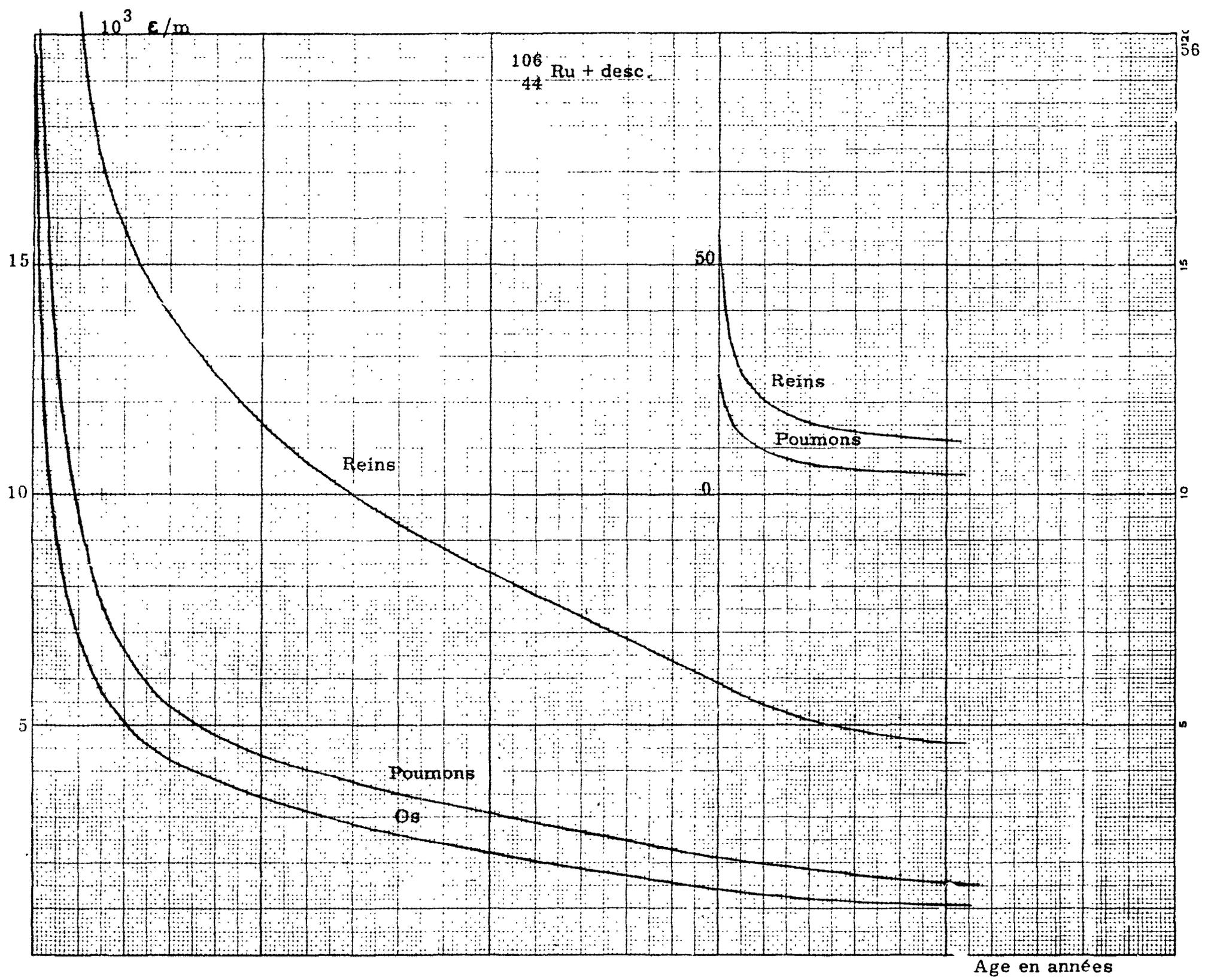
Age en années

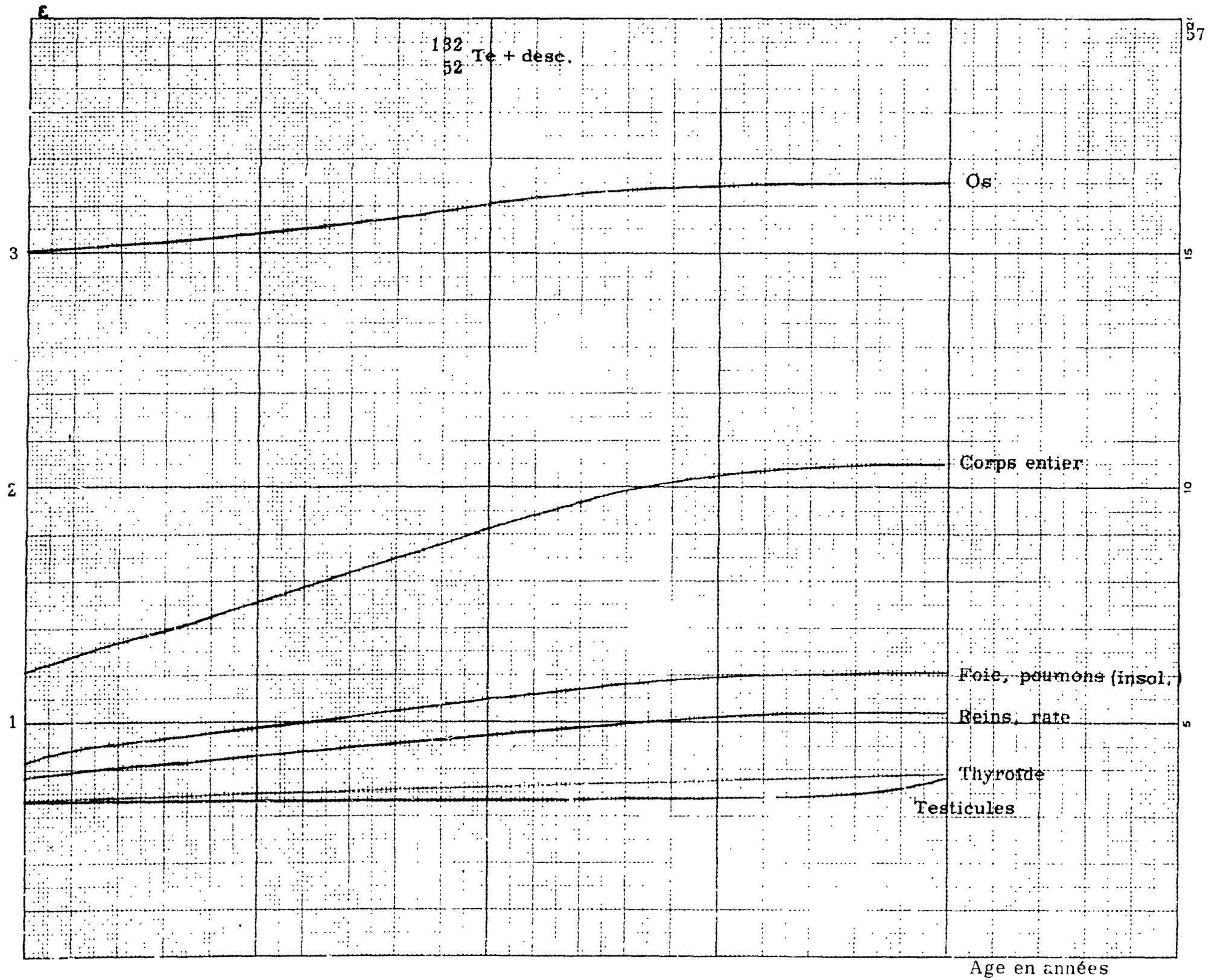


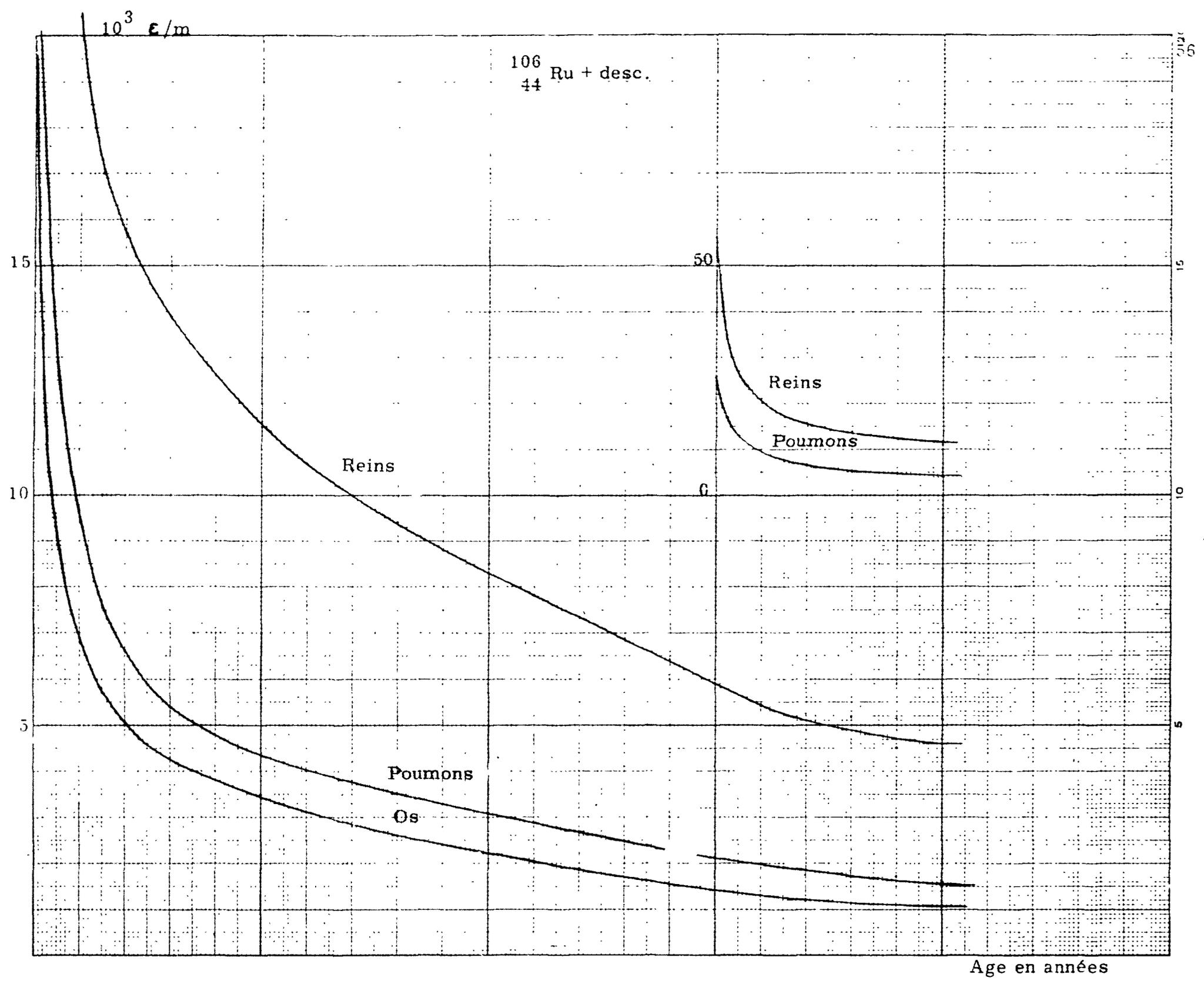


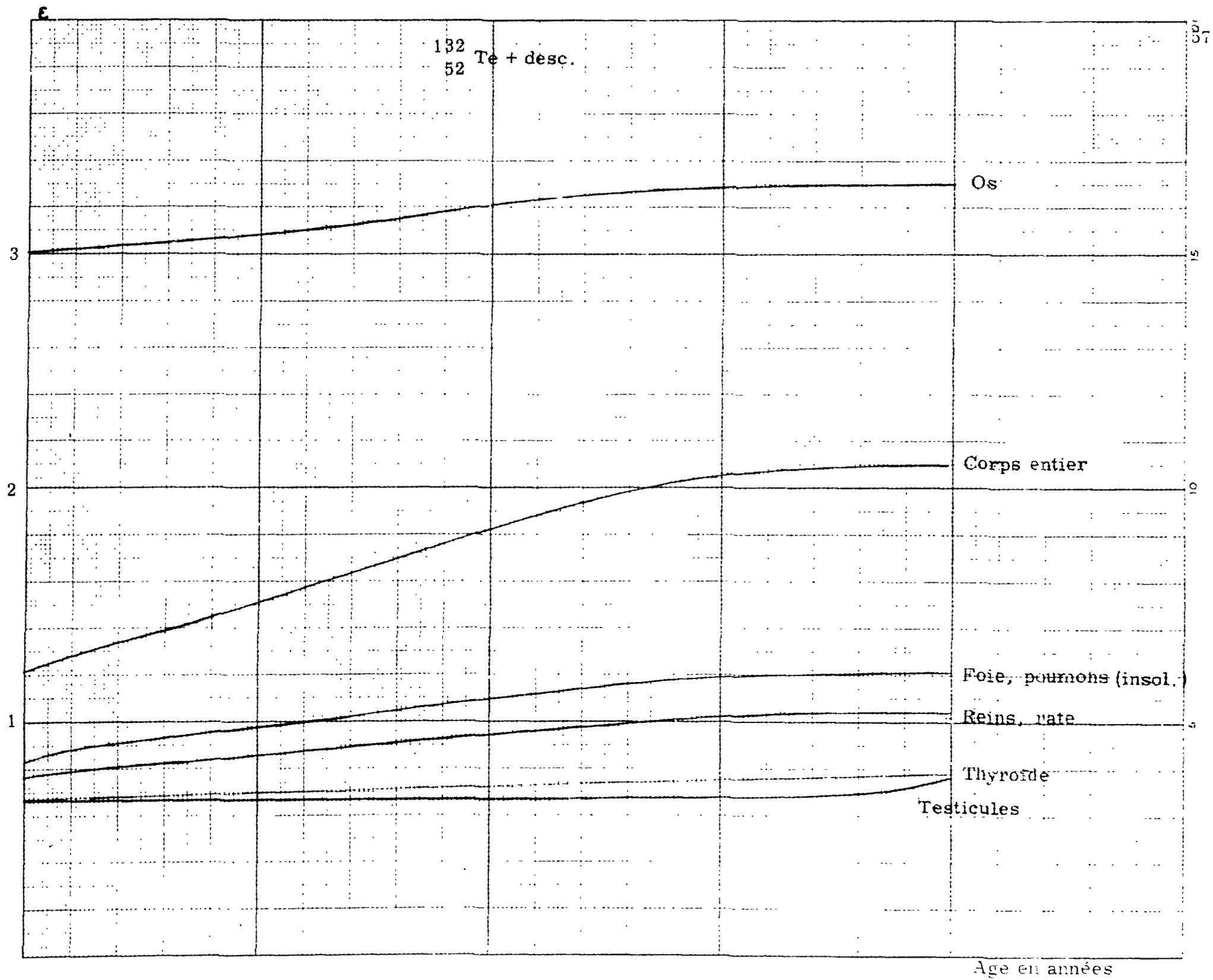


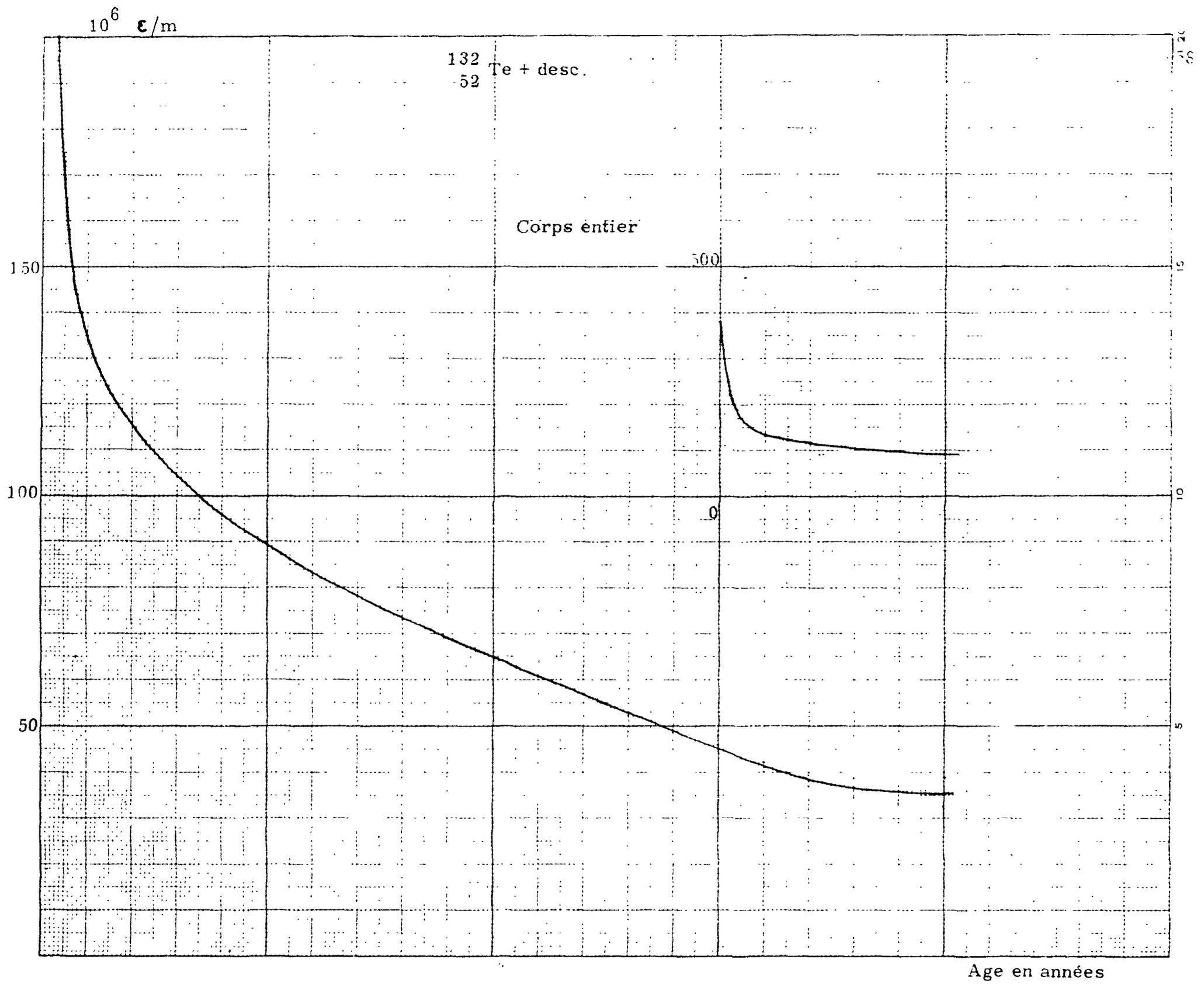












$10^6 \epsilon/m$

$^{132}\text{Te} + \text{desc.}$
52

Corps entier

500

150

100

50

0

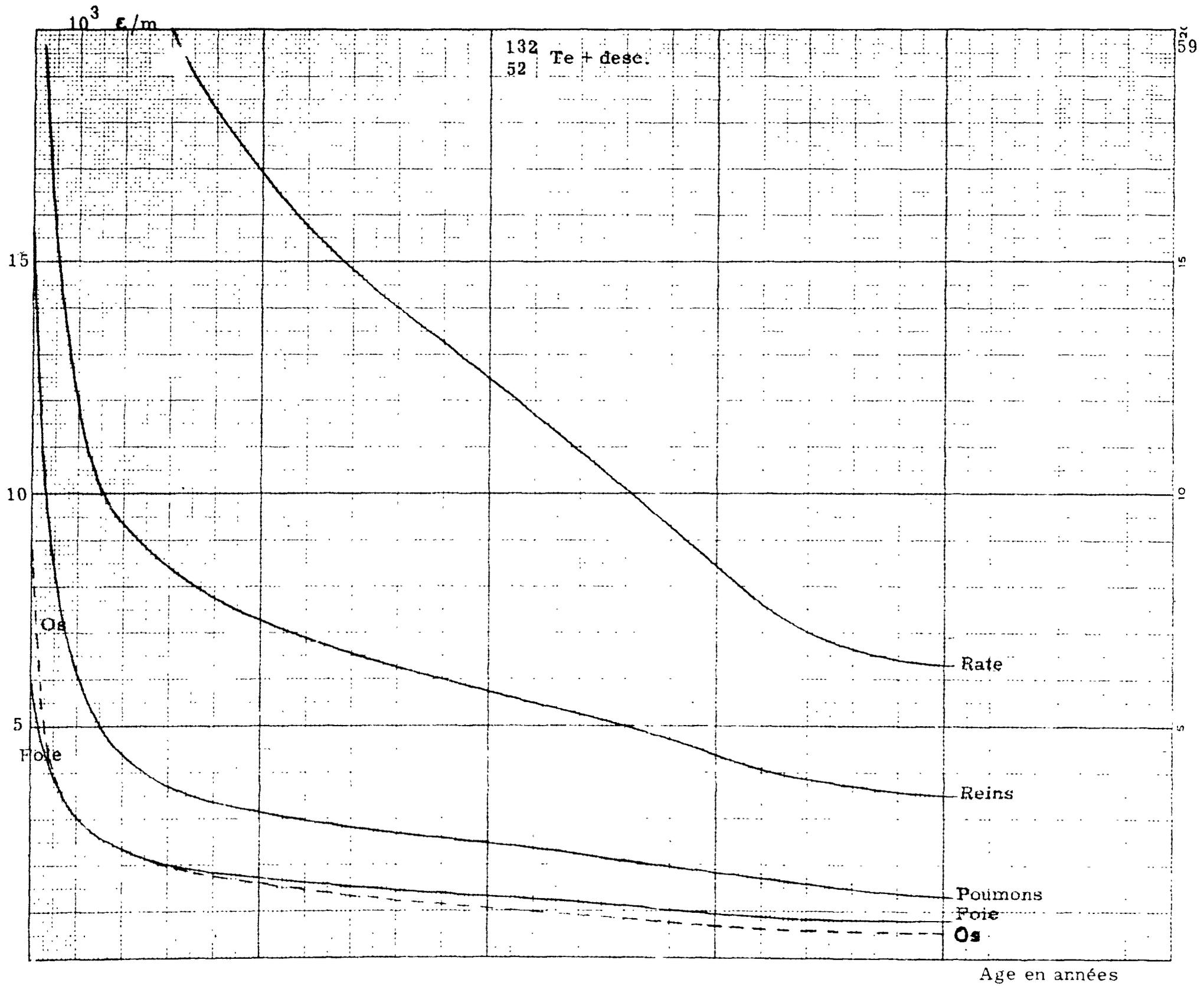
50

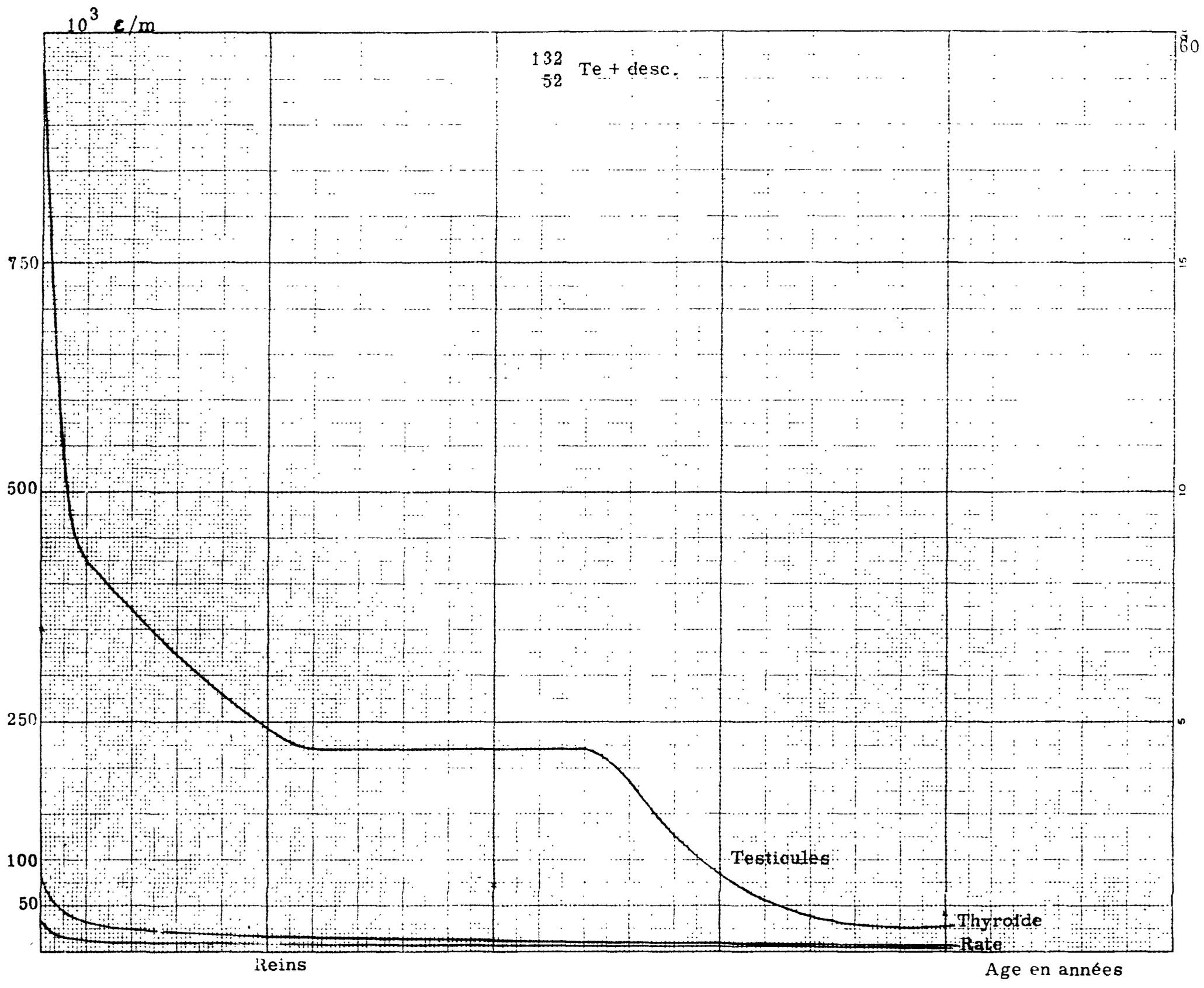
15

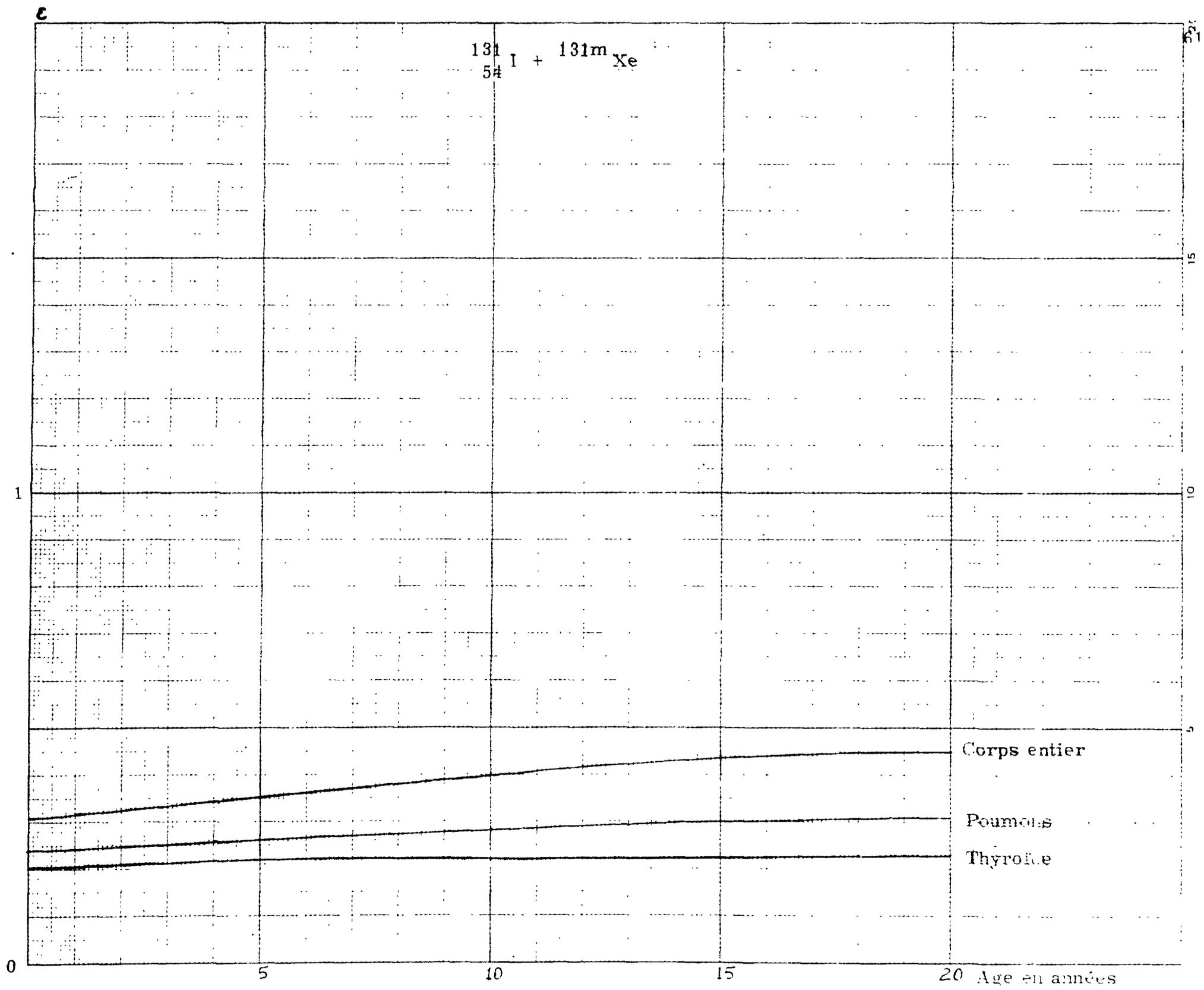
10

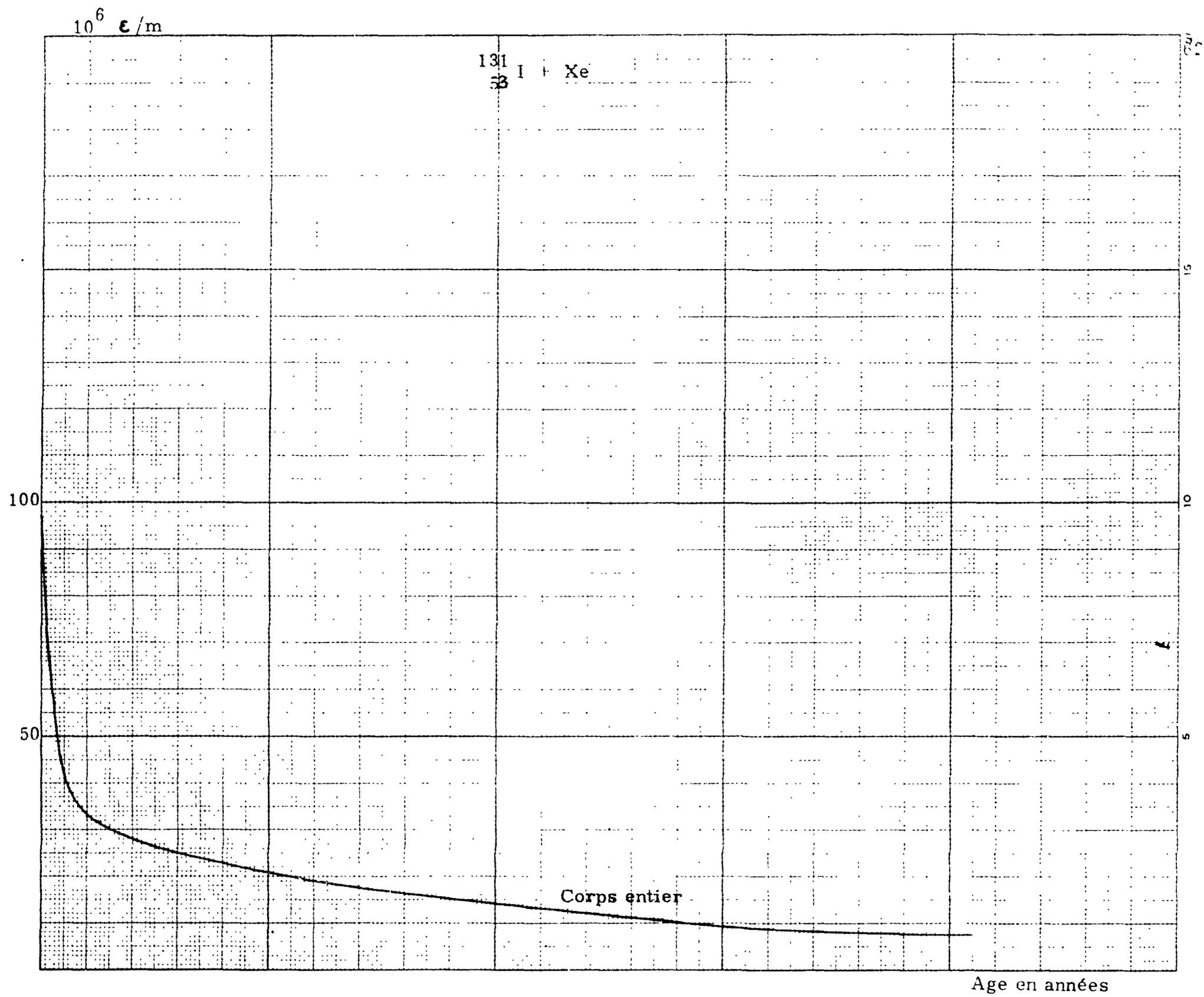
5

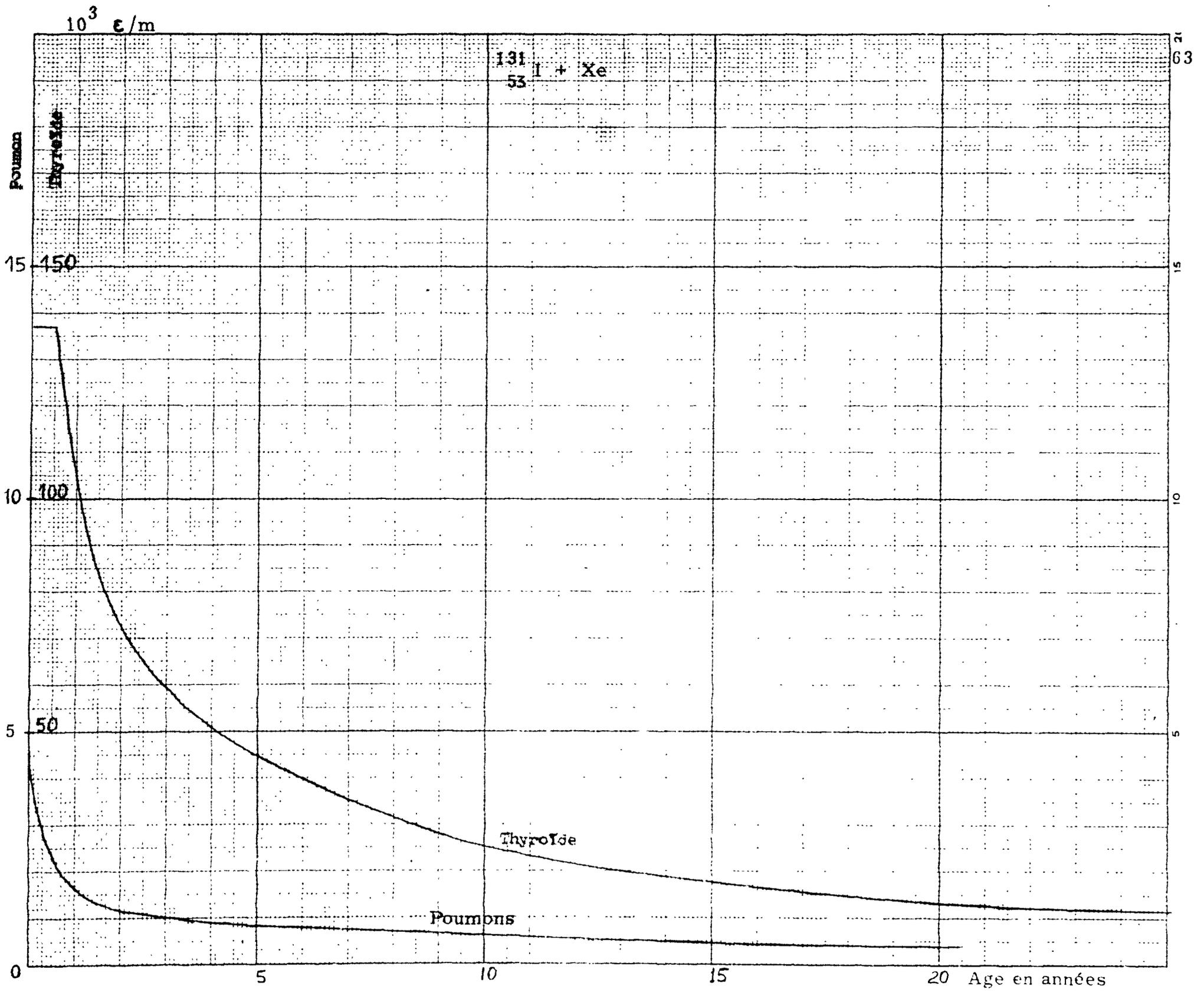
Age en années











ε

$^{137}_{55}\text{Cs} + ^{137\text{m}}_{56}\text{Ba}$

4

15

10

5

1

0,5

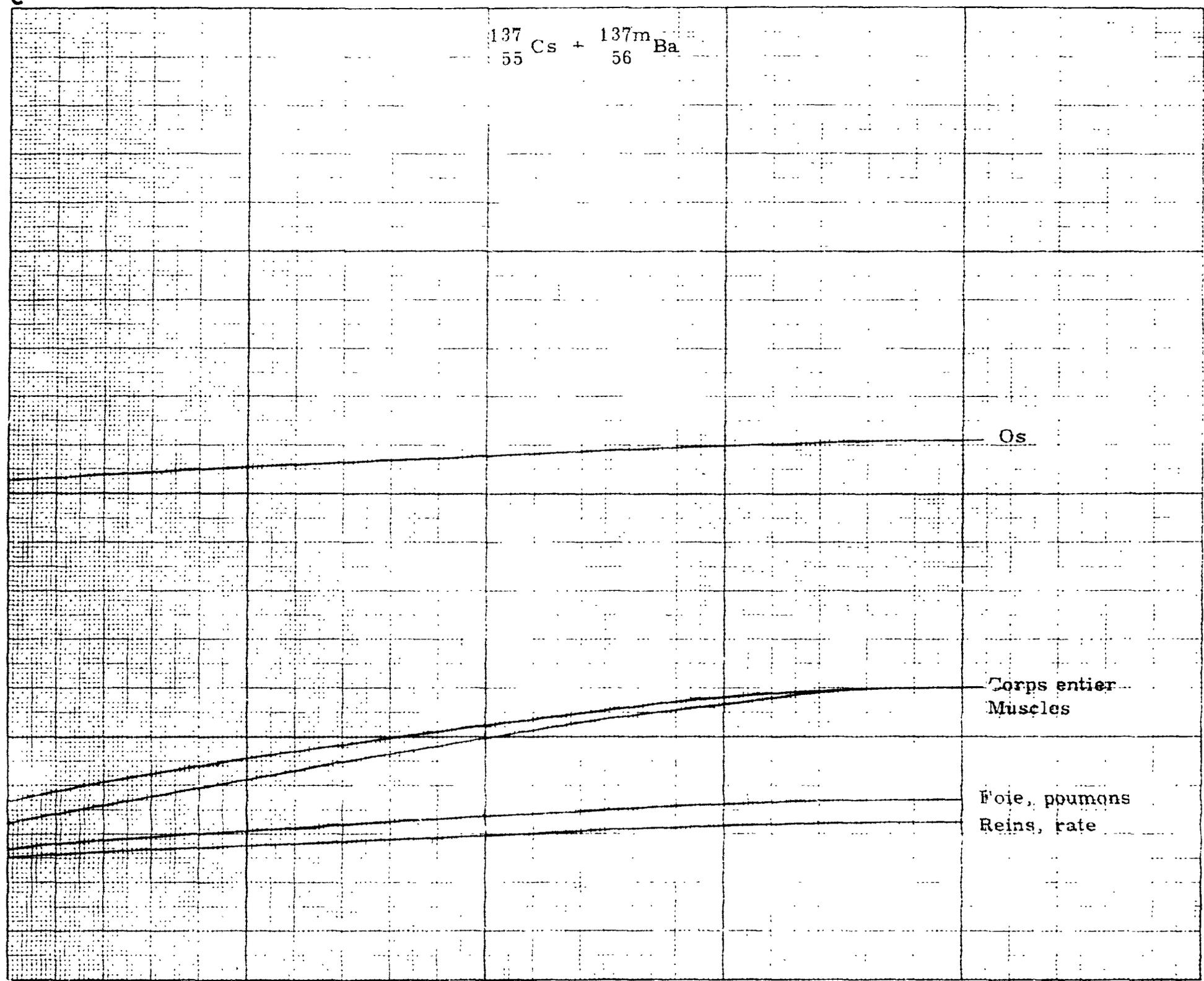
0

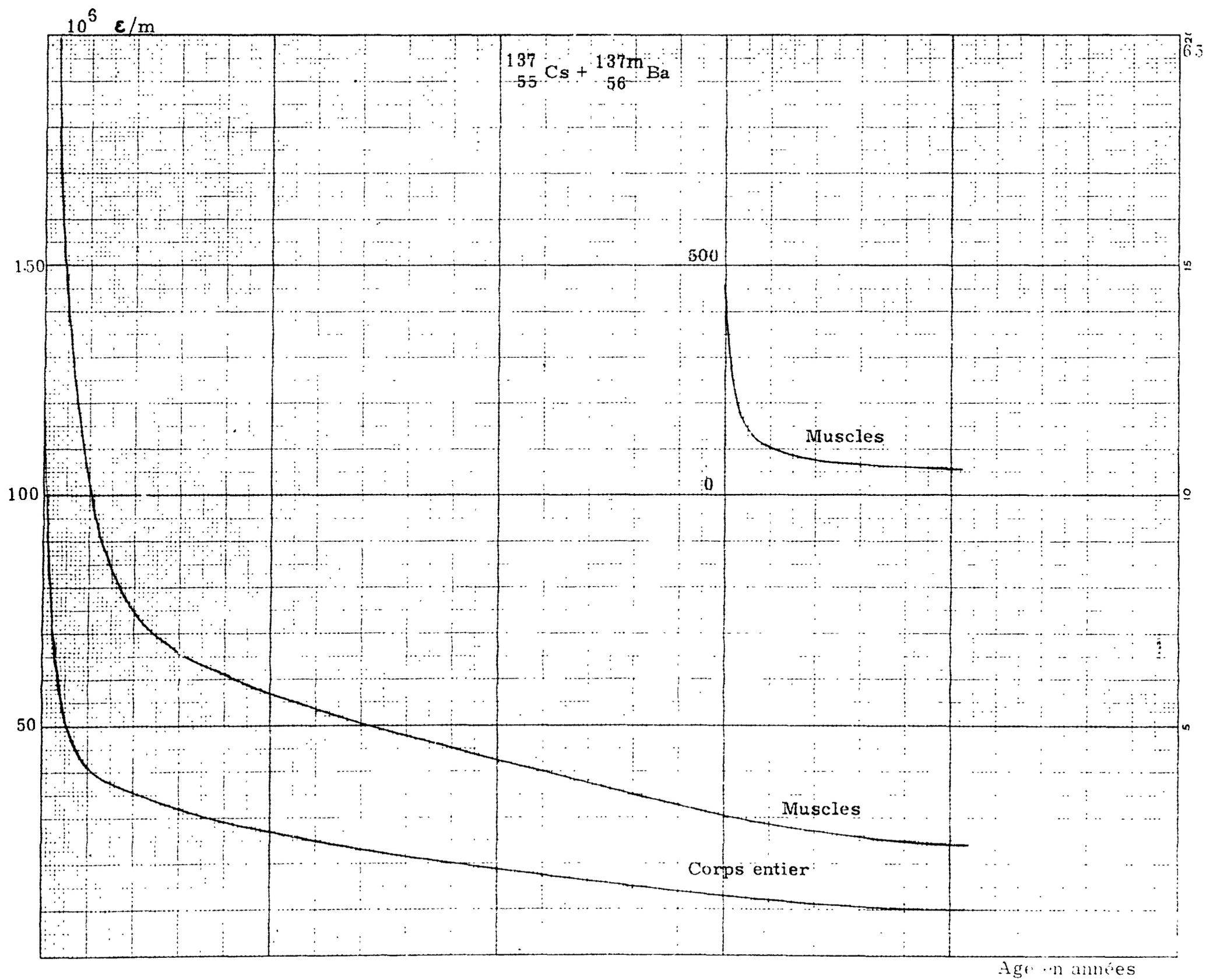
Os

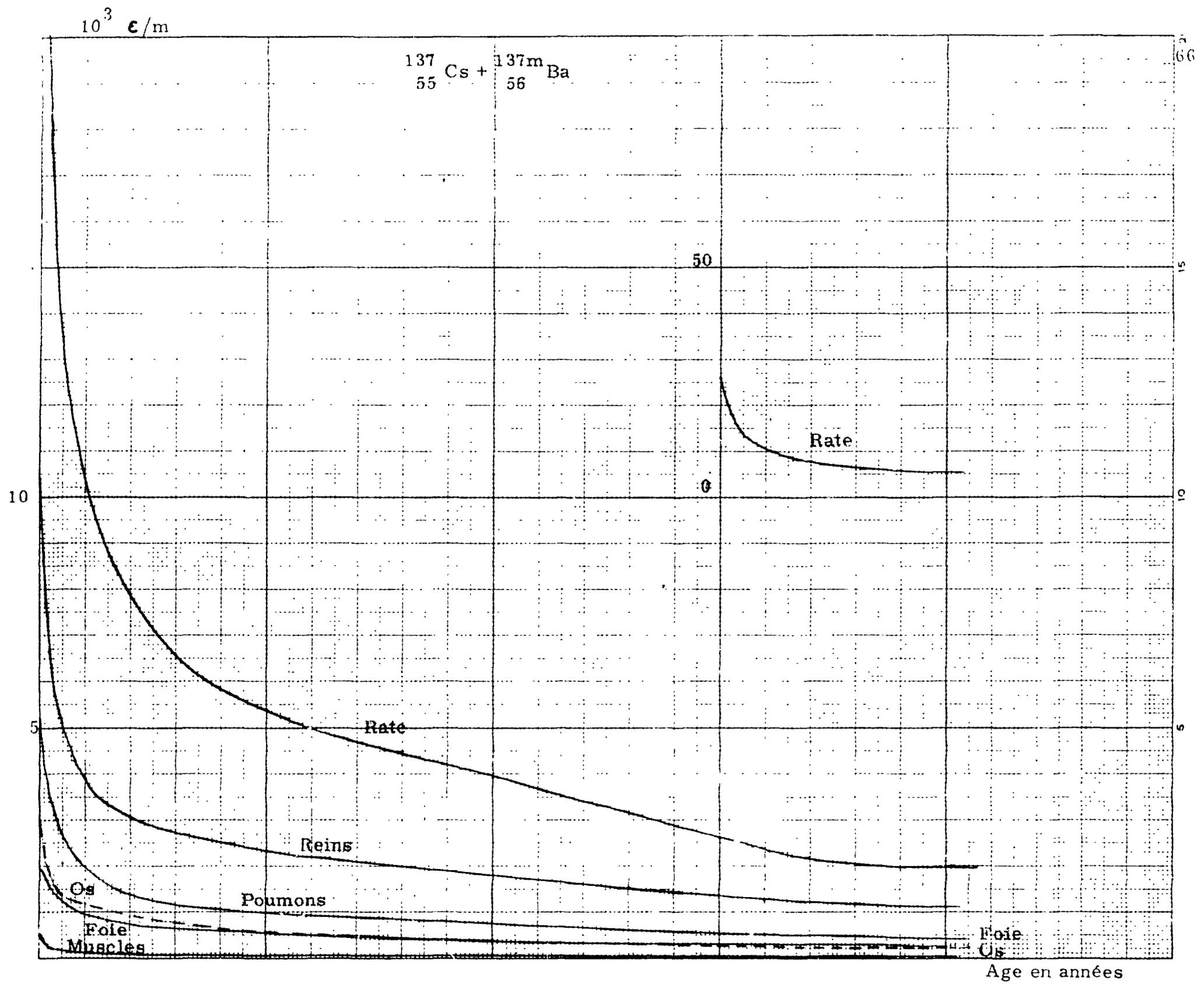
Corps entier
Muscles

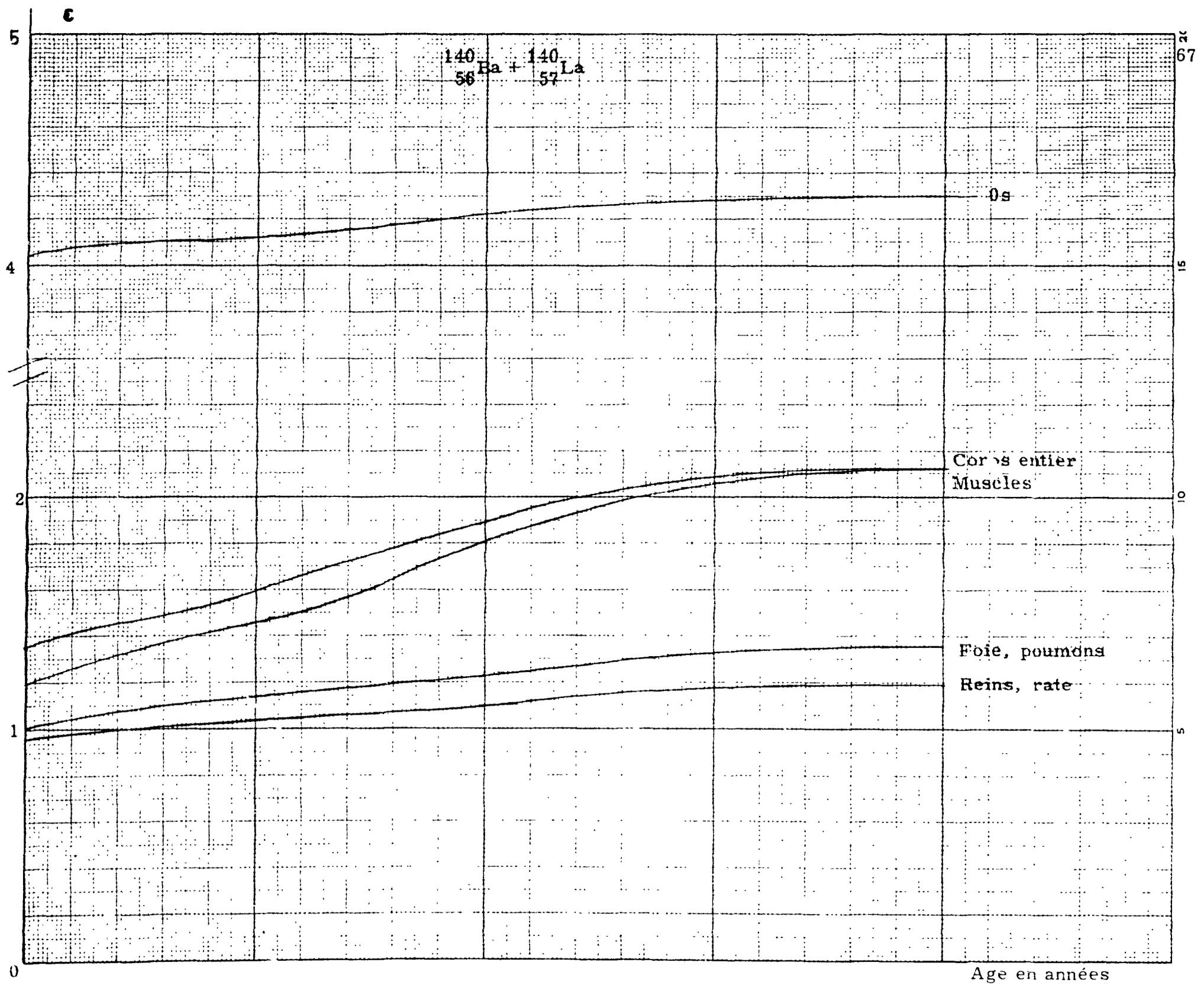
Foie, poumons
Reins, rate

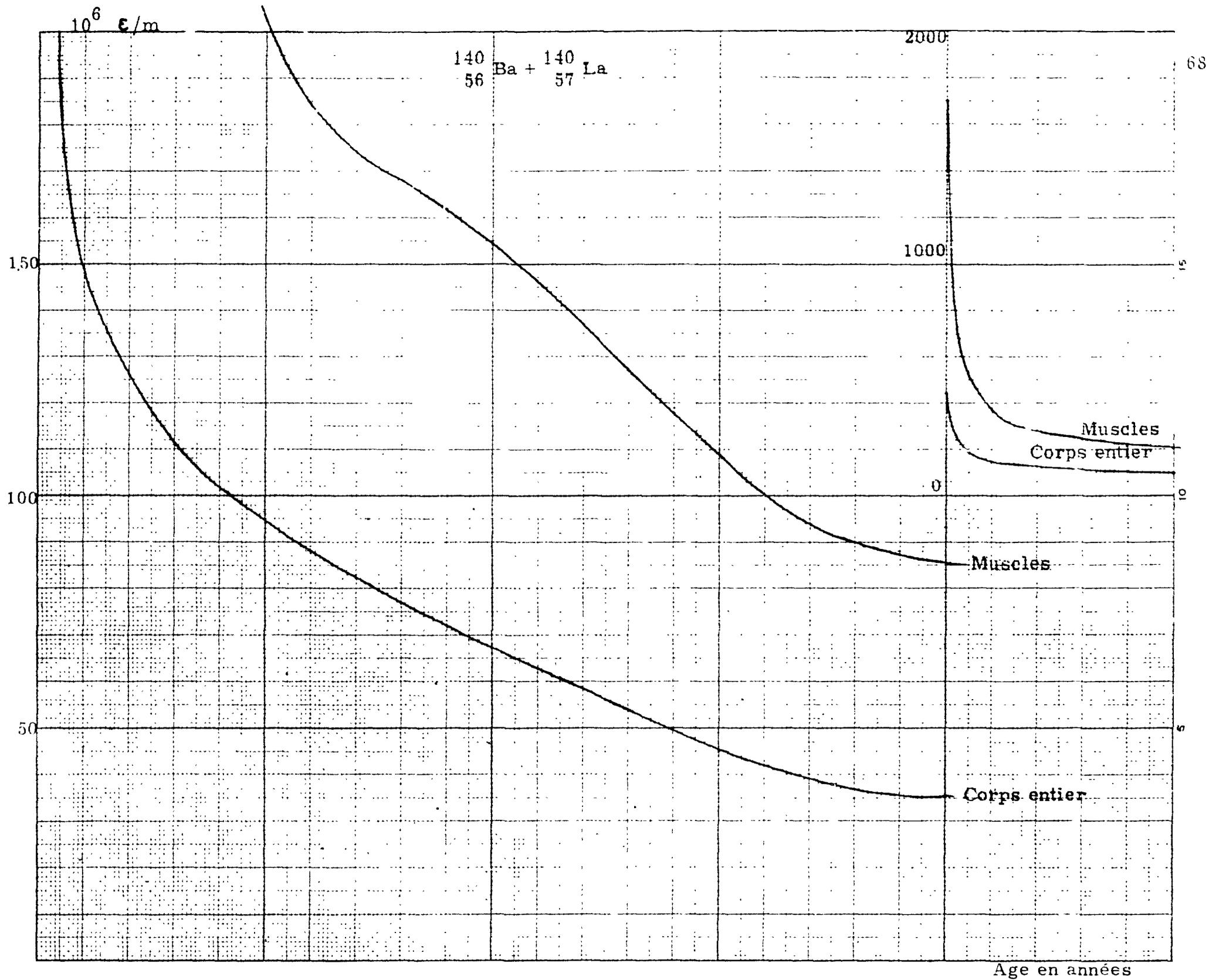
Age en années

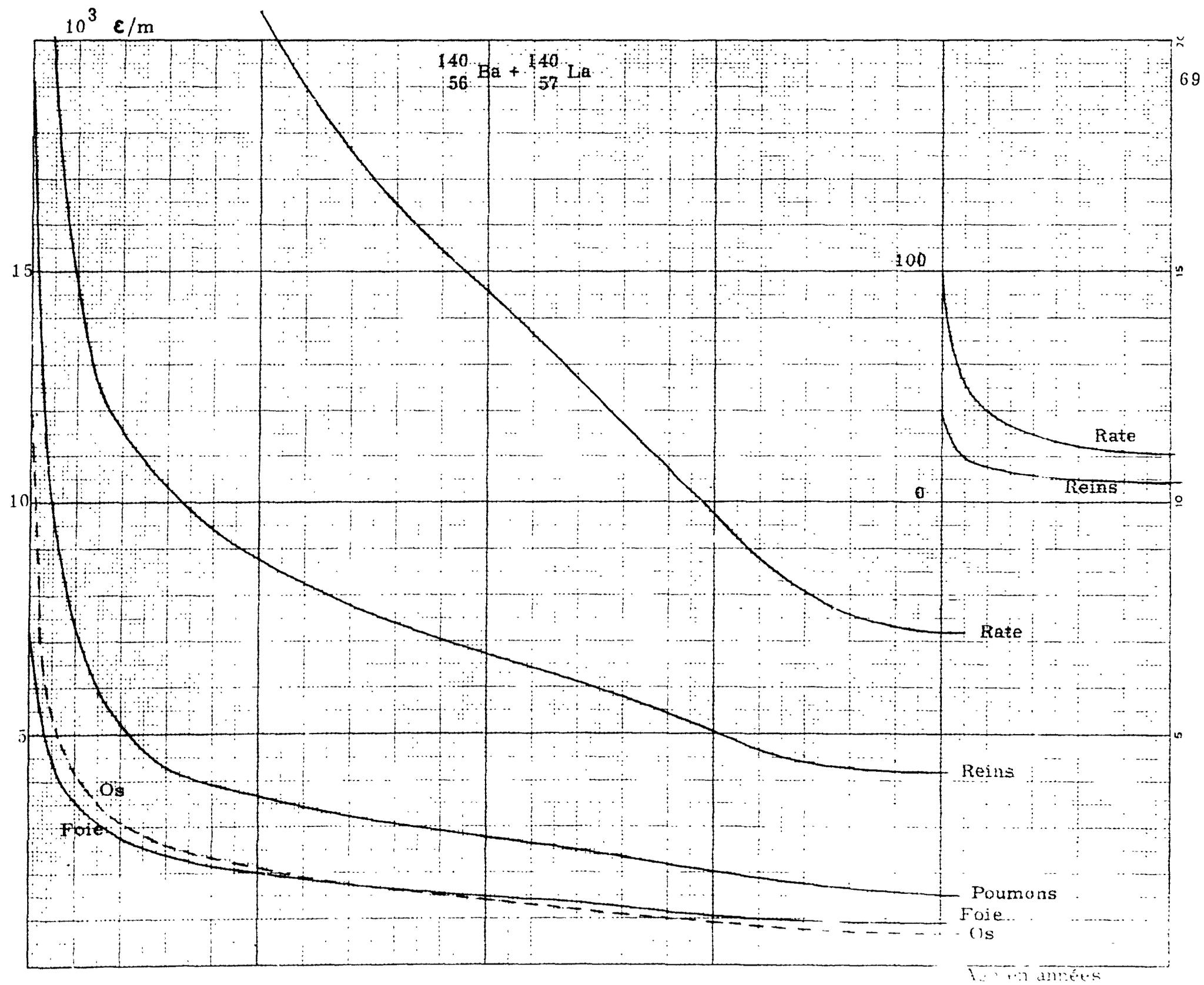






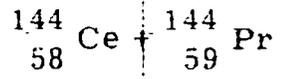






Années

ε



2

15

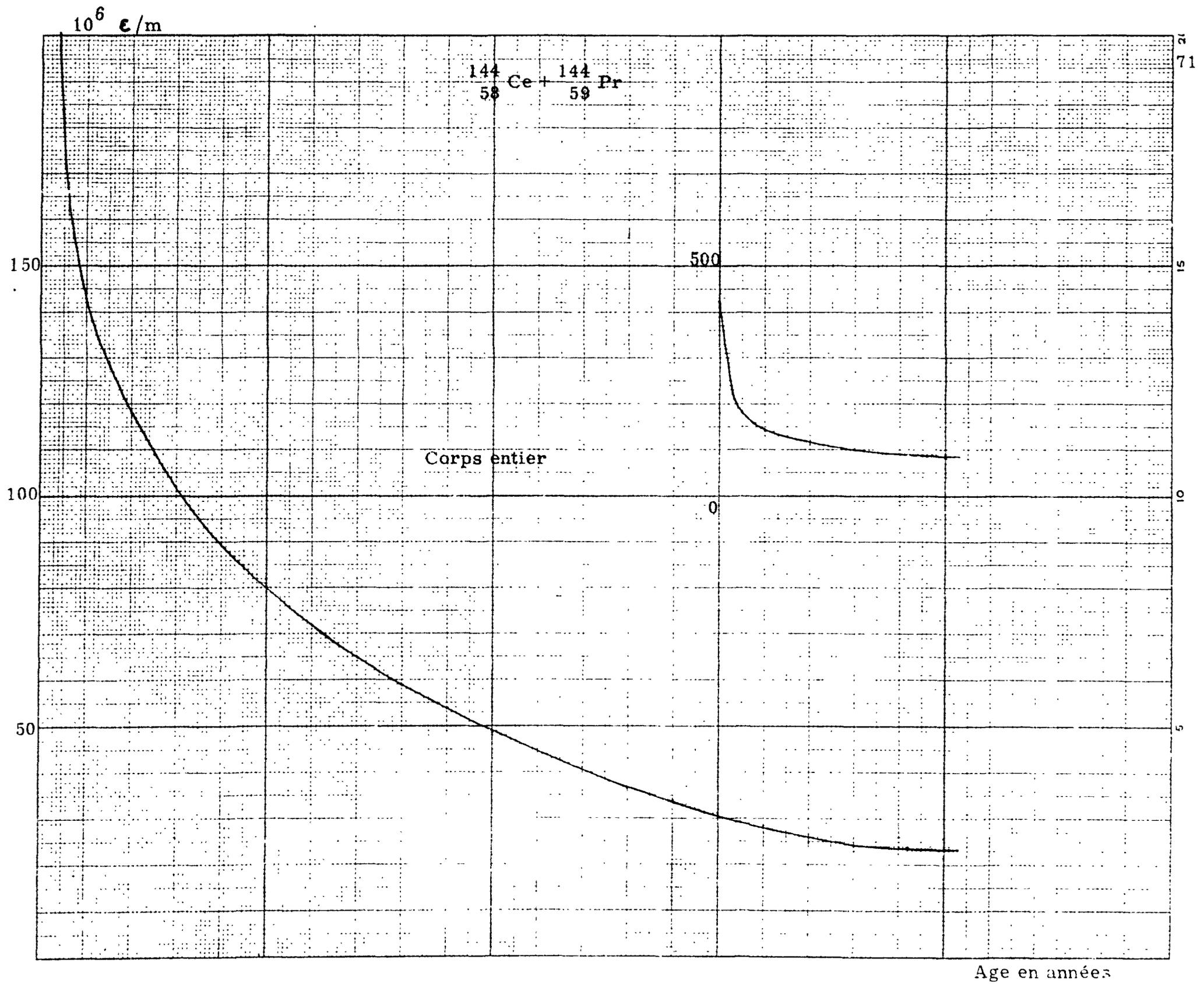
10

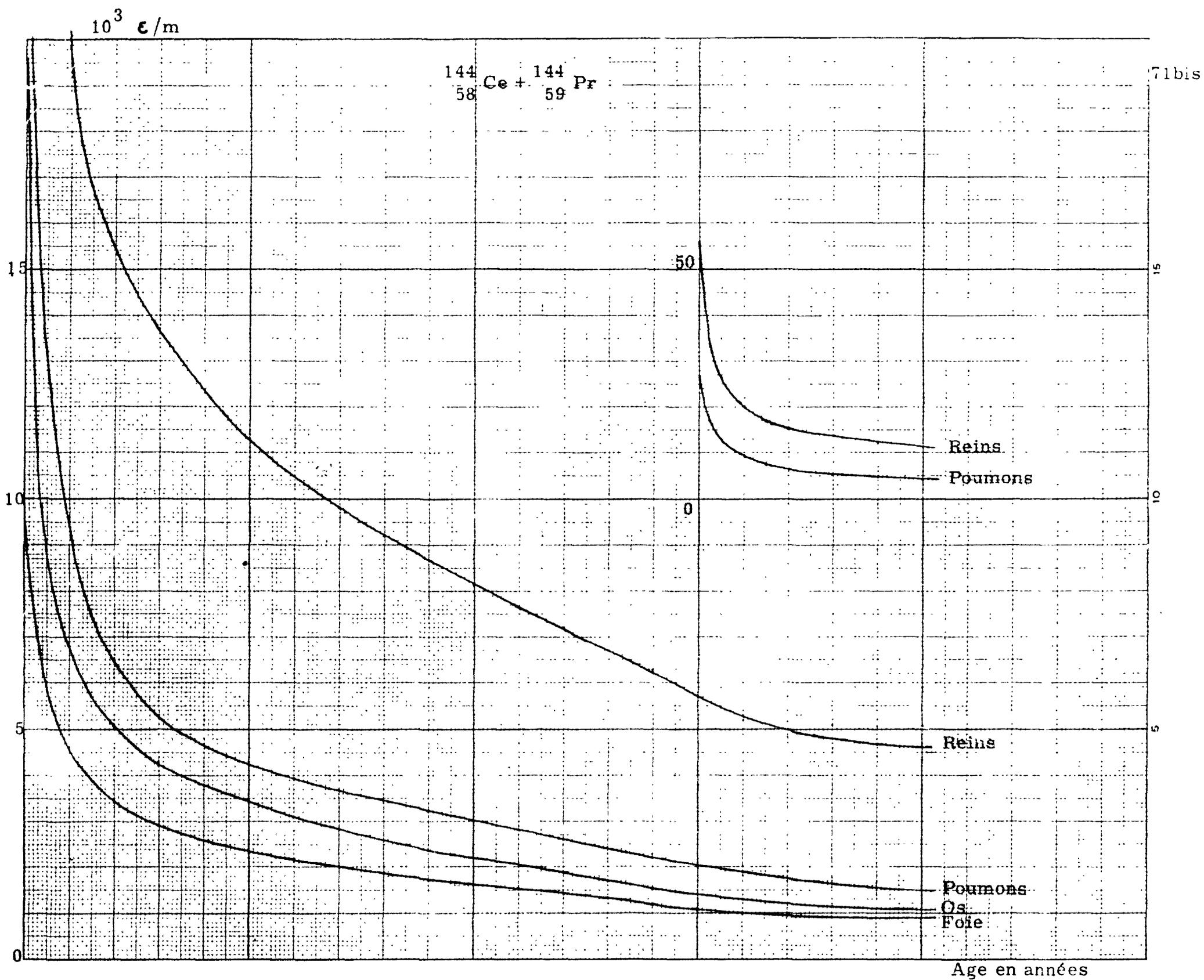
5

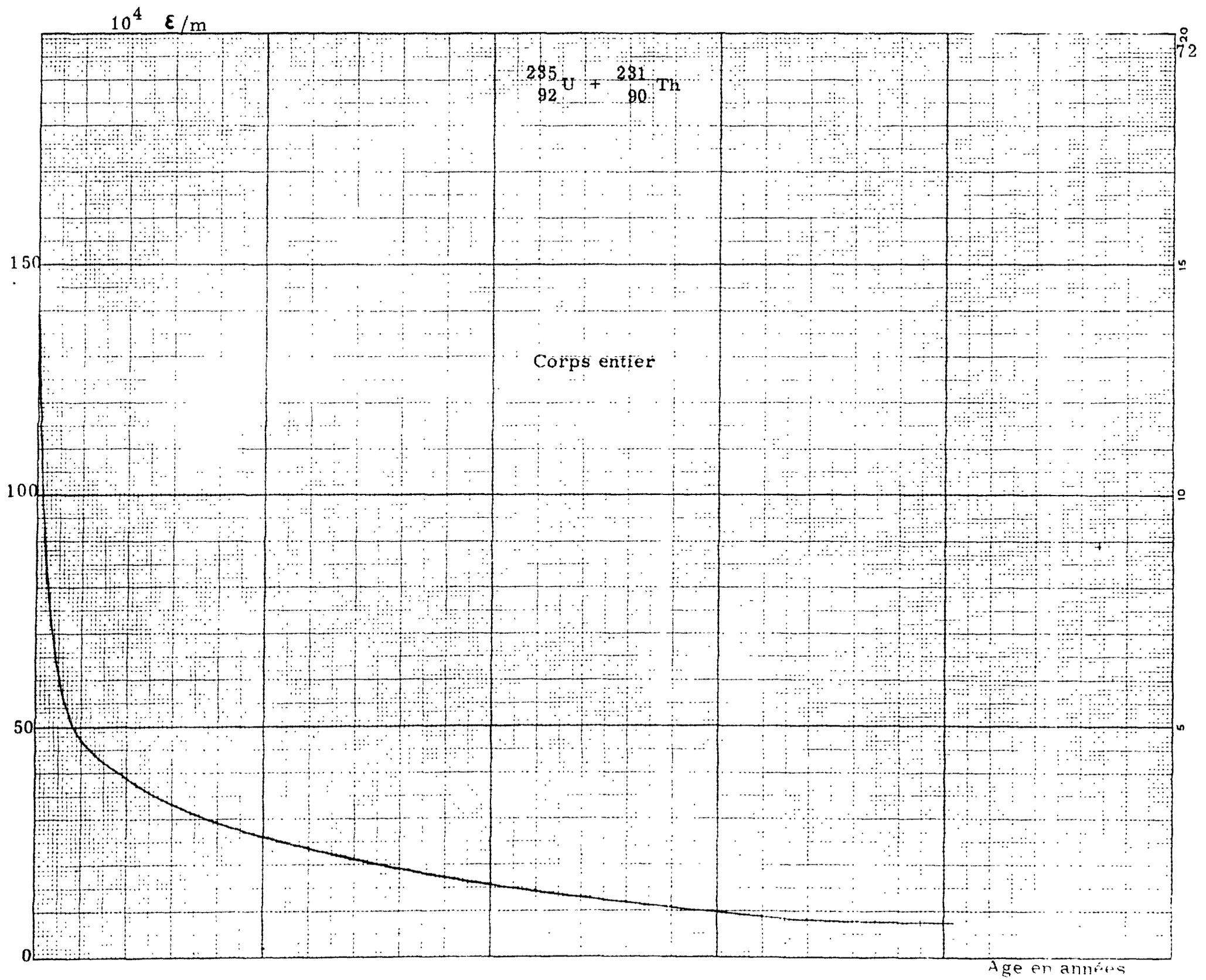
Corps entier

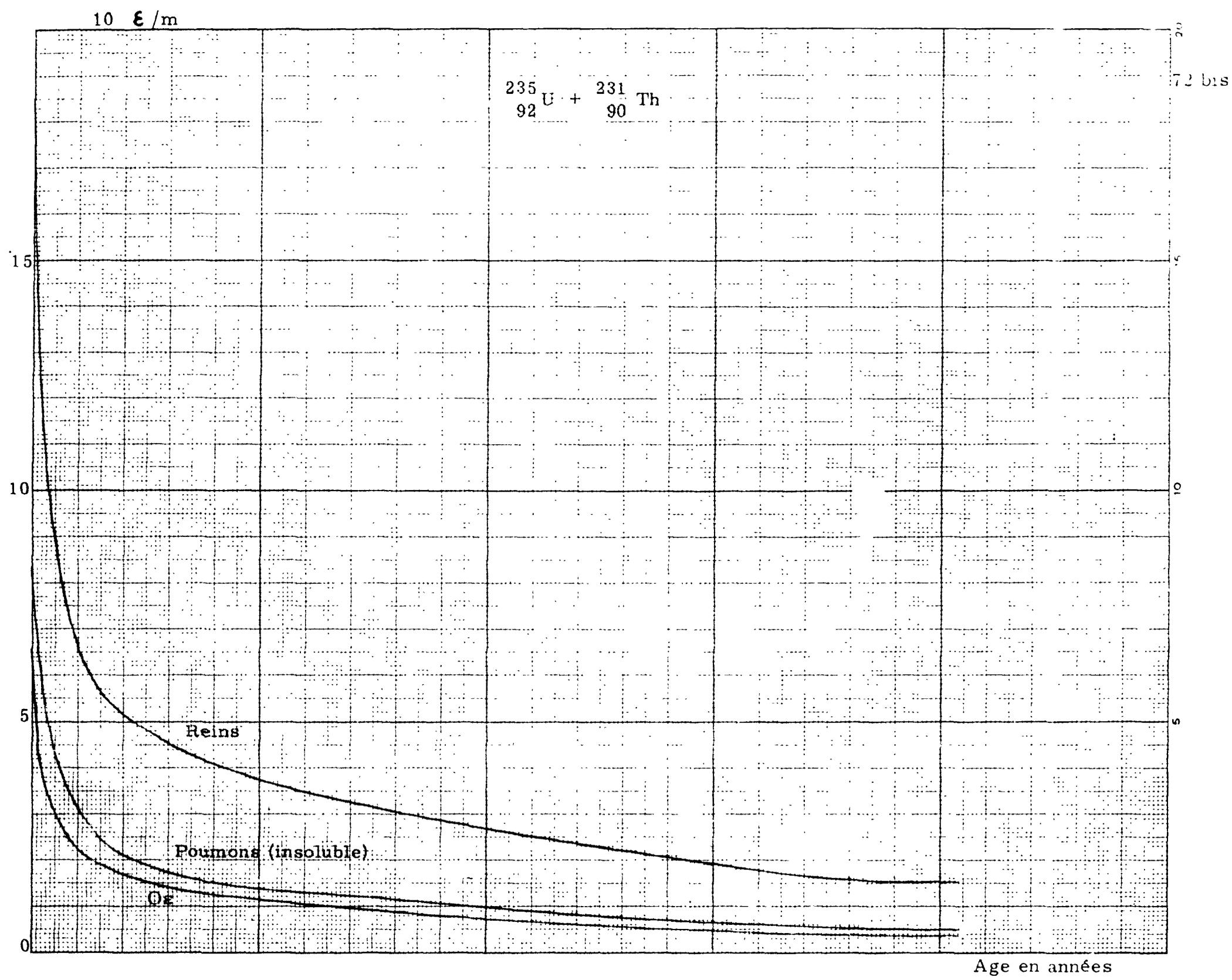
1

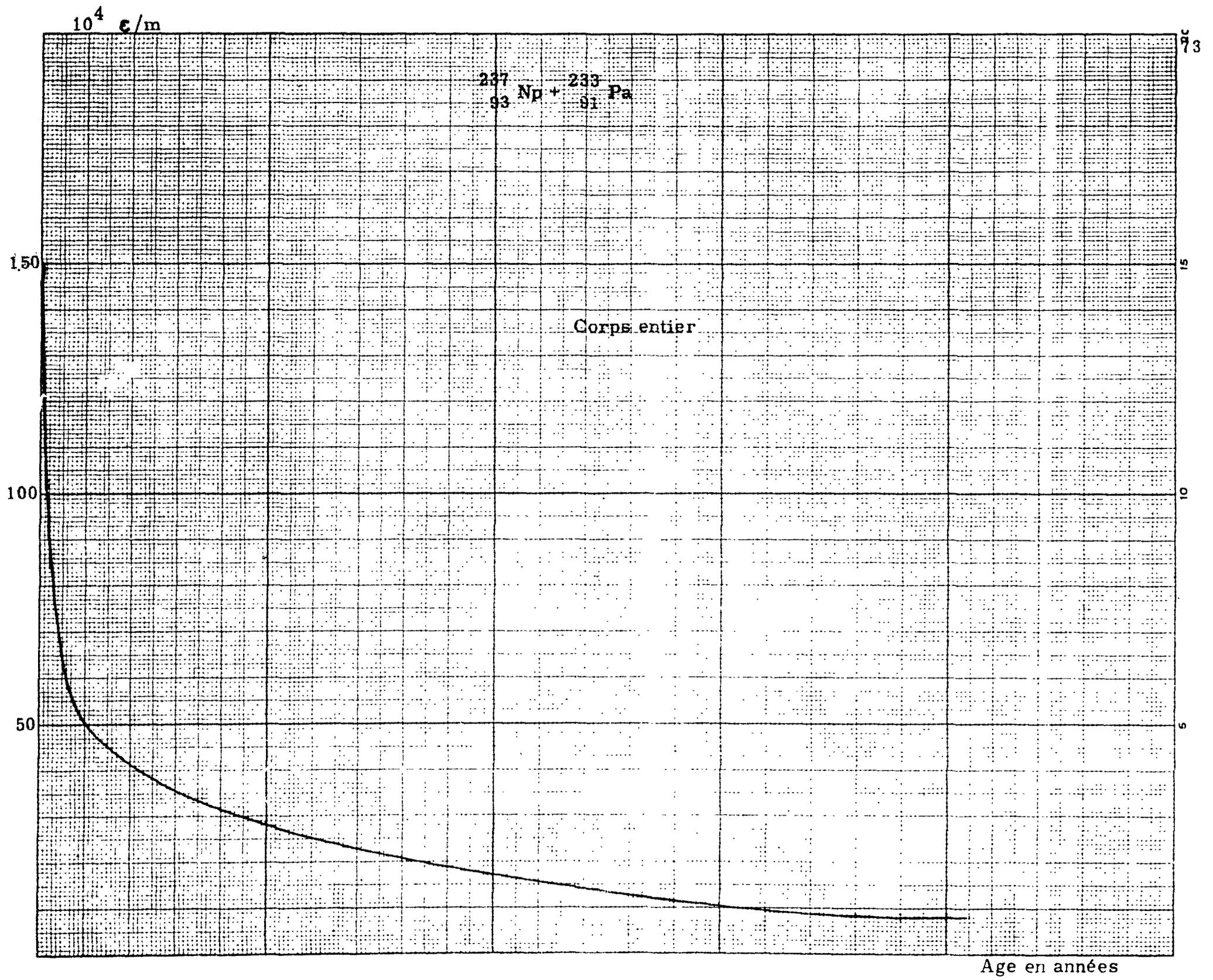
Age en années



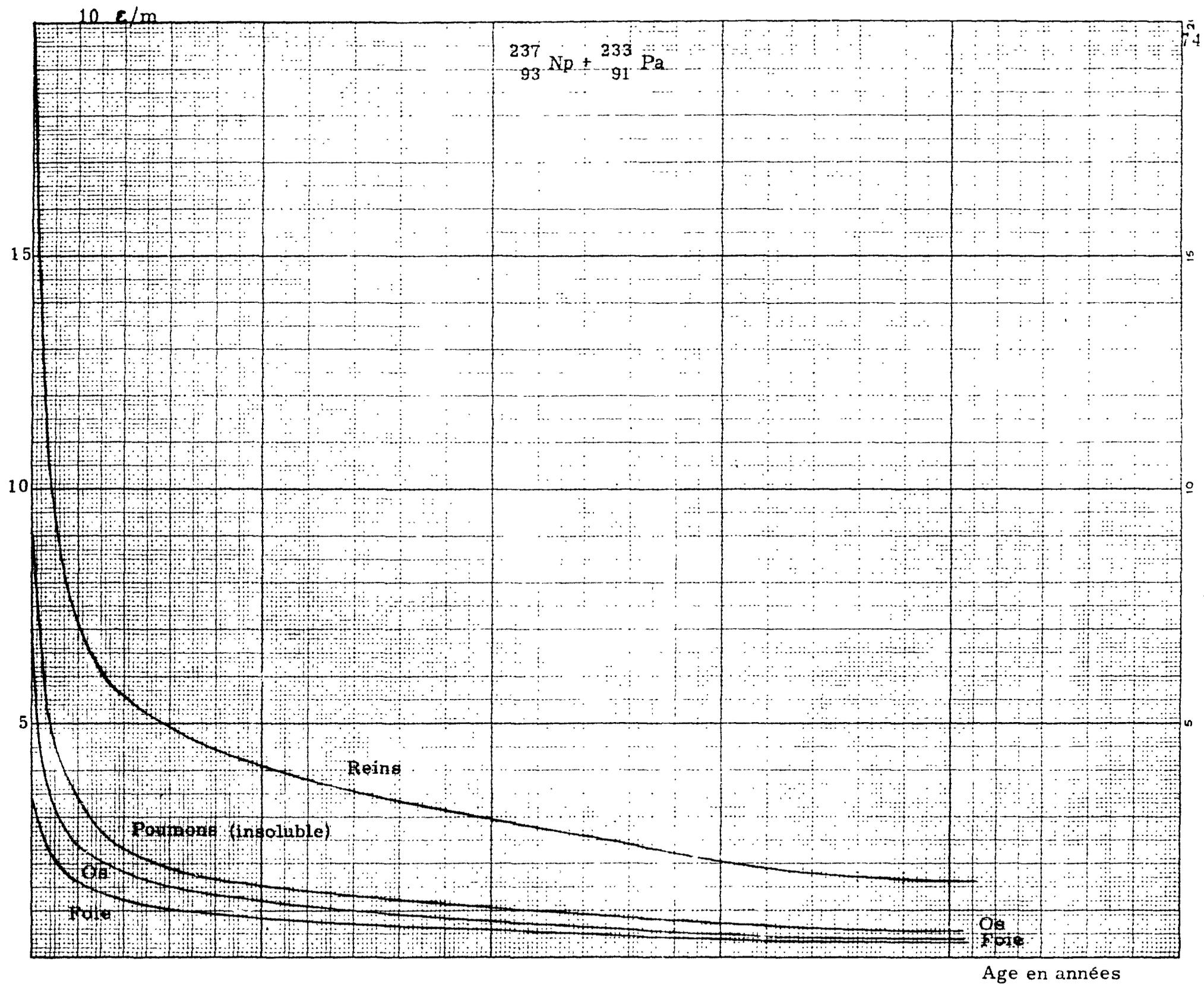








Age en années



ε

$^{239}_{93}\text{Np} + ^{239}_{94}\text{Pu}$

75

15

10

5

1

0,5

0

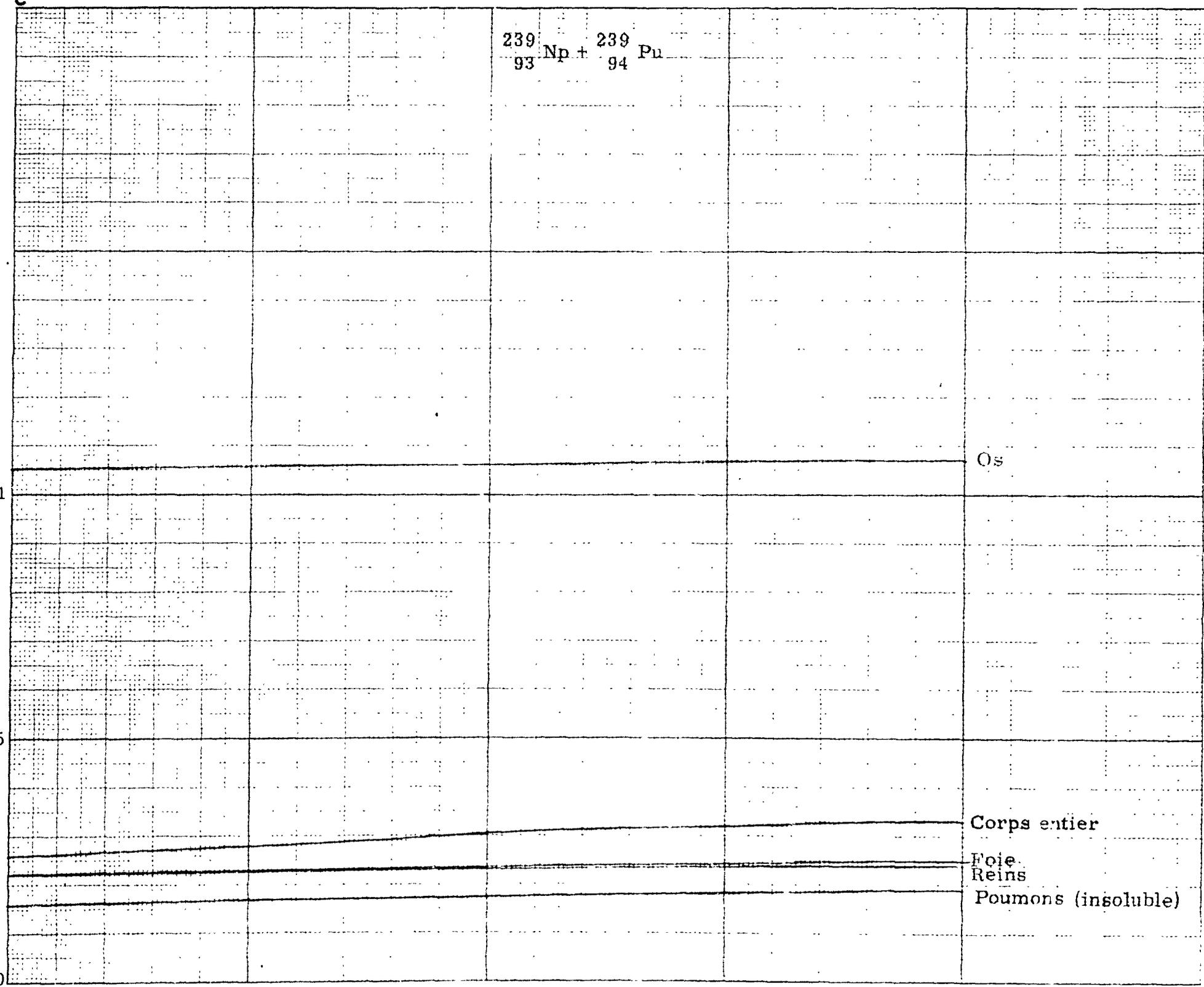
Os

Corps entier

Foie
Reins

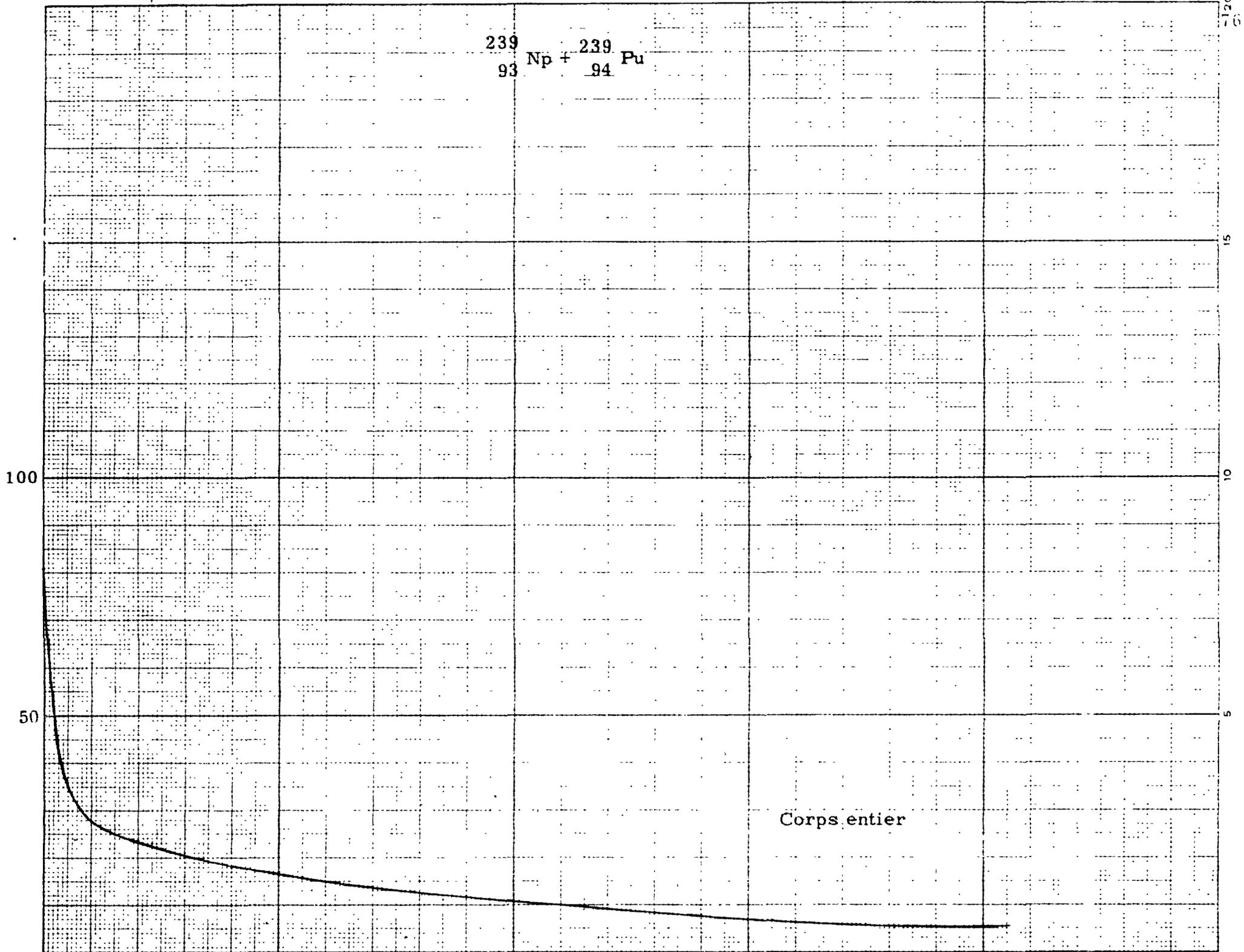
Poumons (insoluble)

Age en années



$10^6 \epsilon/m$

$^{239}_{93}\text{Np} + ^{239}_{94}\text{Pu}$



Corps entier

Age en années

10^3 e/m

$^{239}_{84}\text{Np} + ^{239}_{84}\text{Pu}$

77

15

15

10

10

5

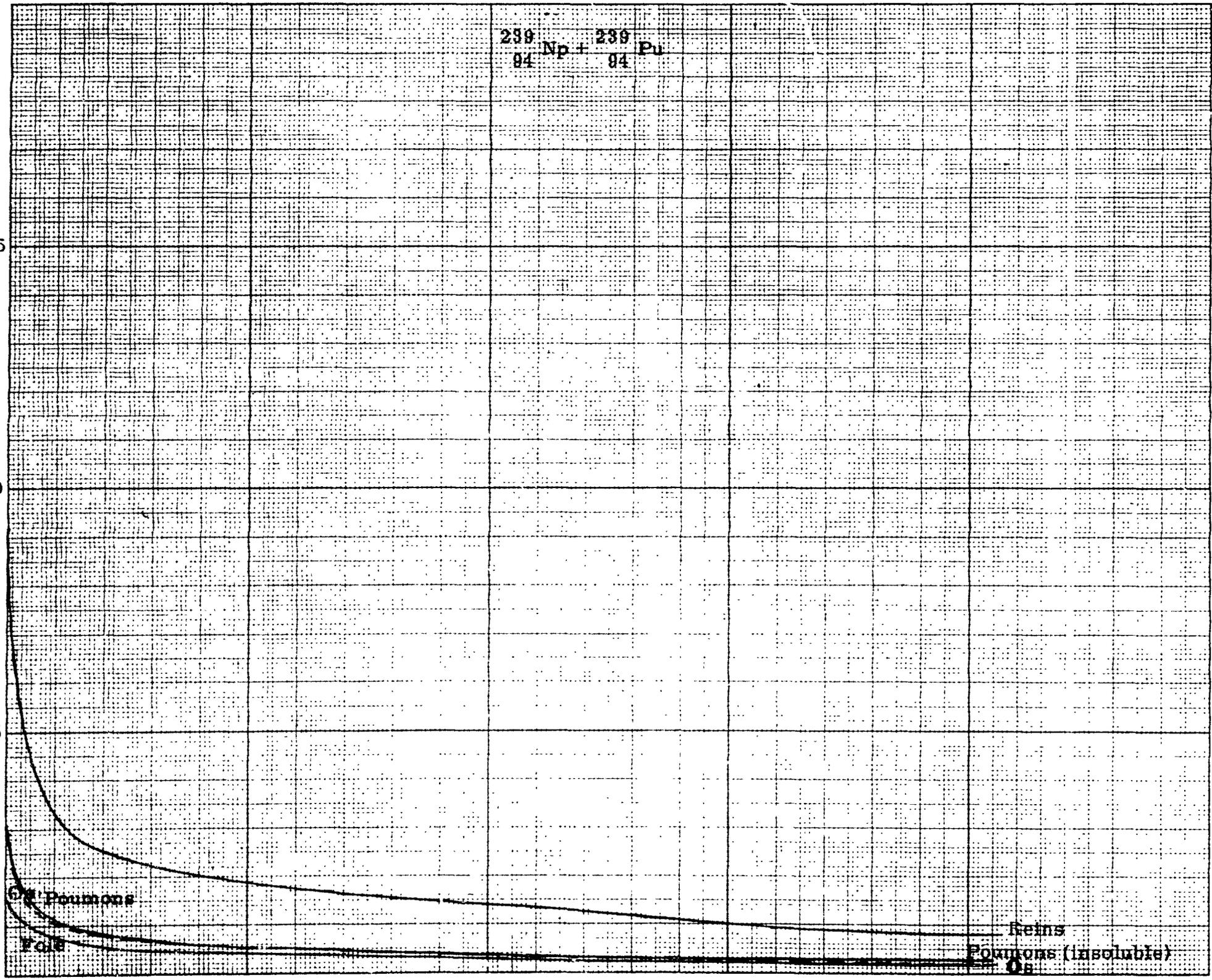
5

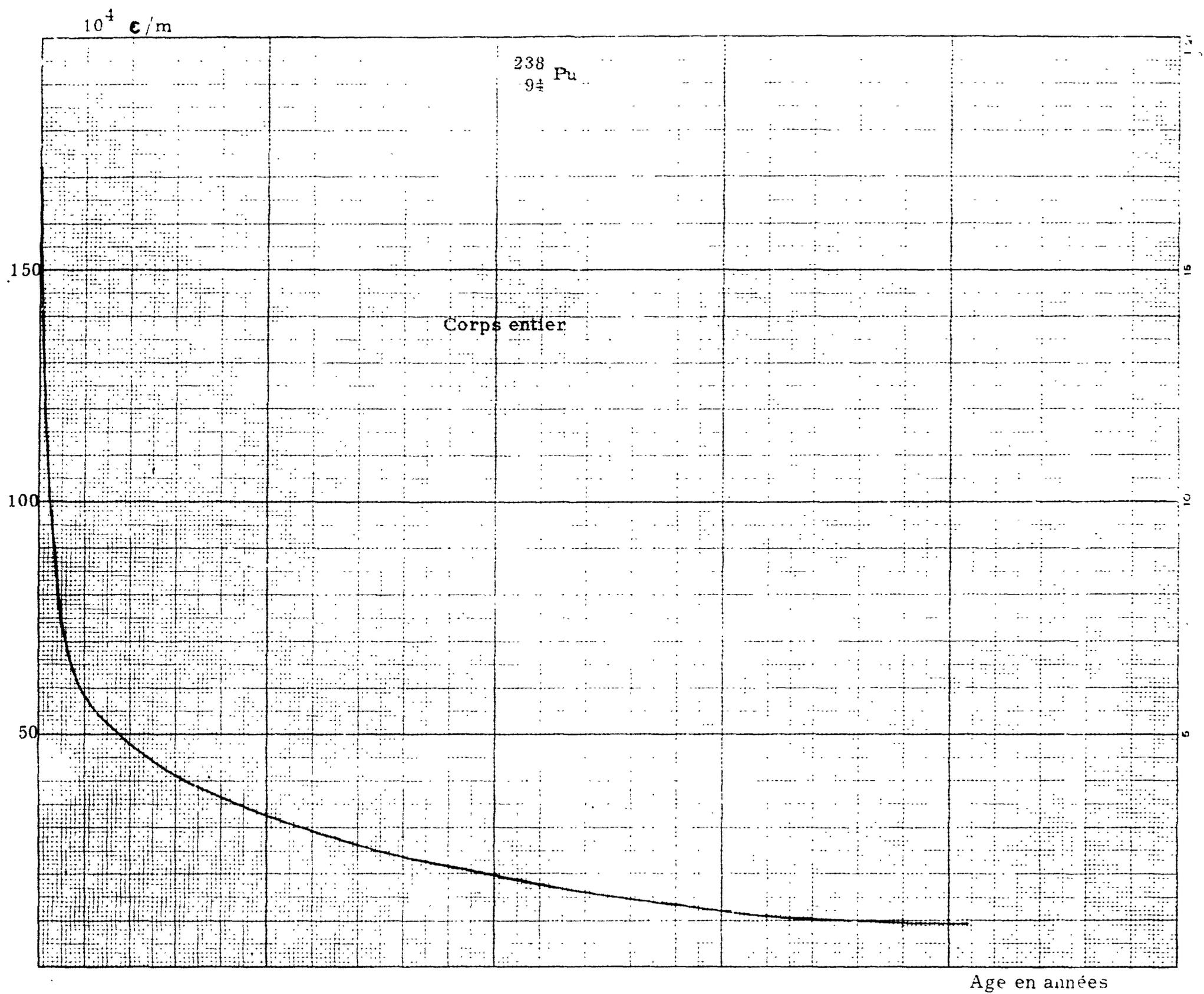
① Poumons

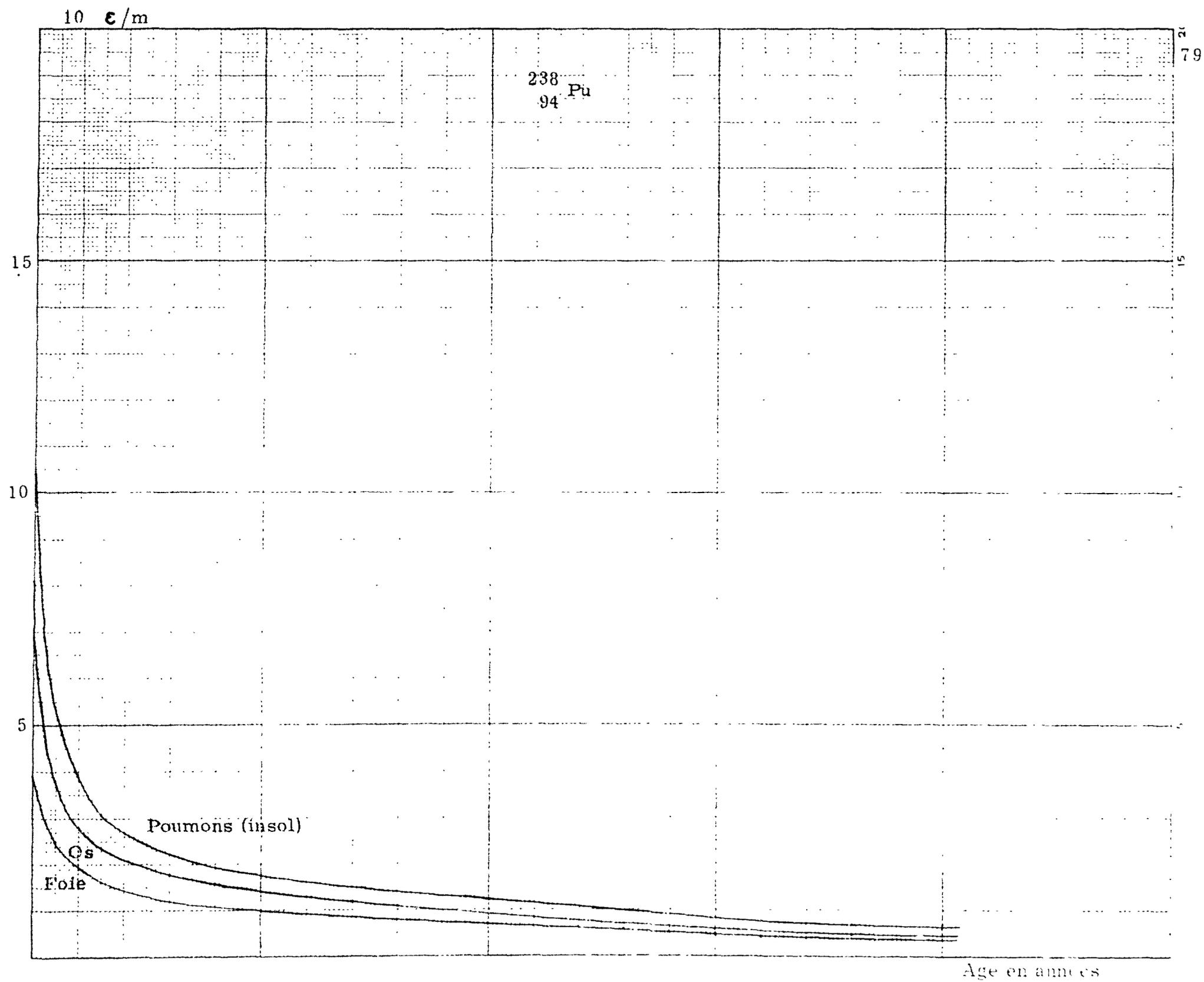
Foie

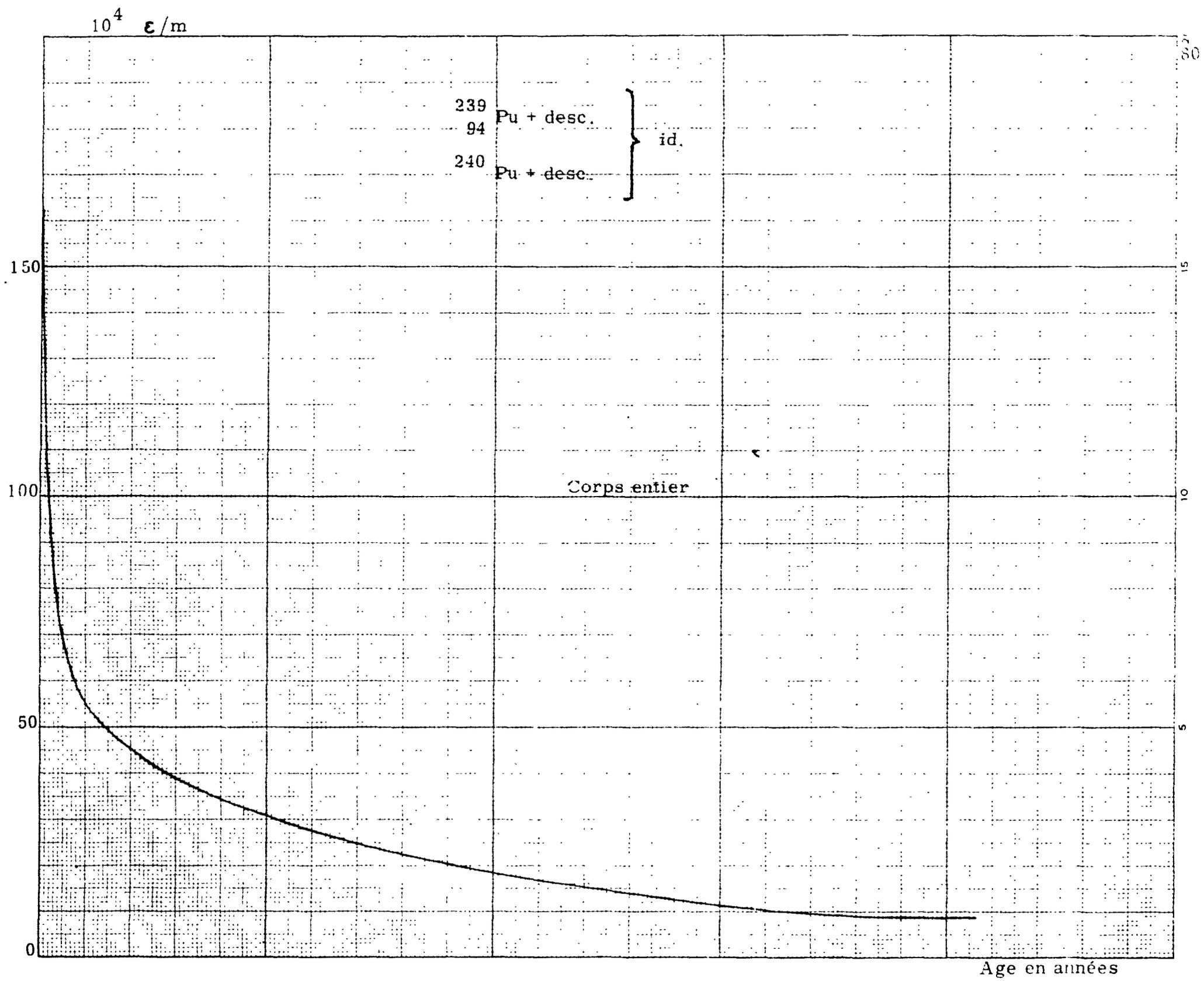
Reins
Poumons (insoluble)
Os

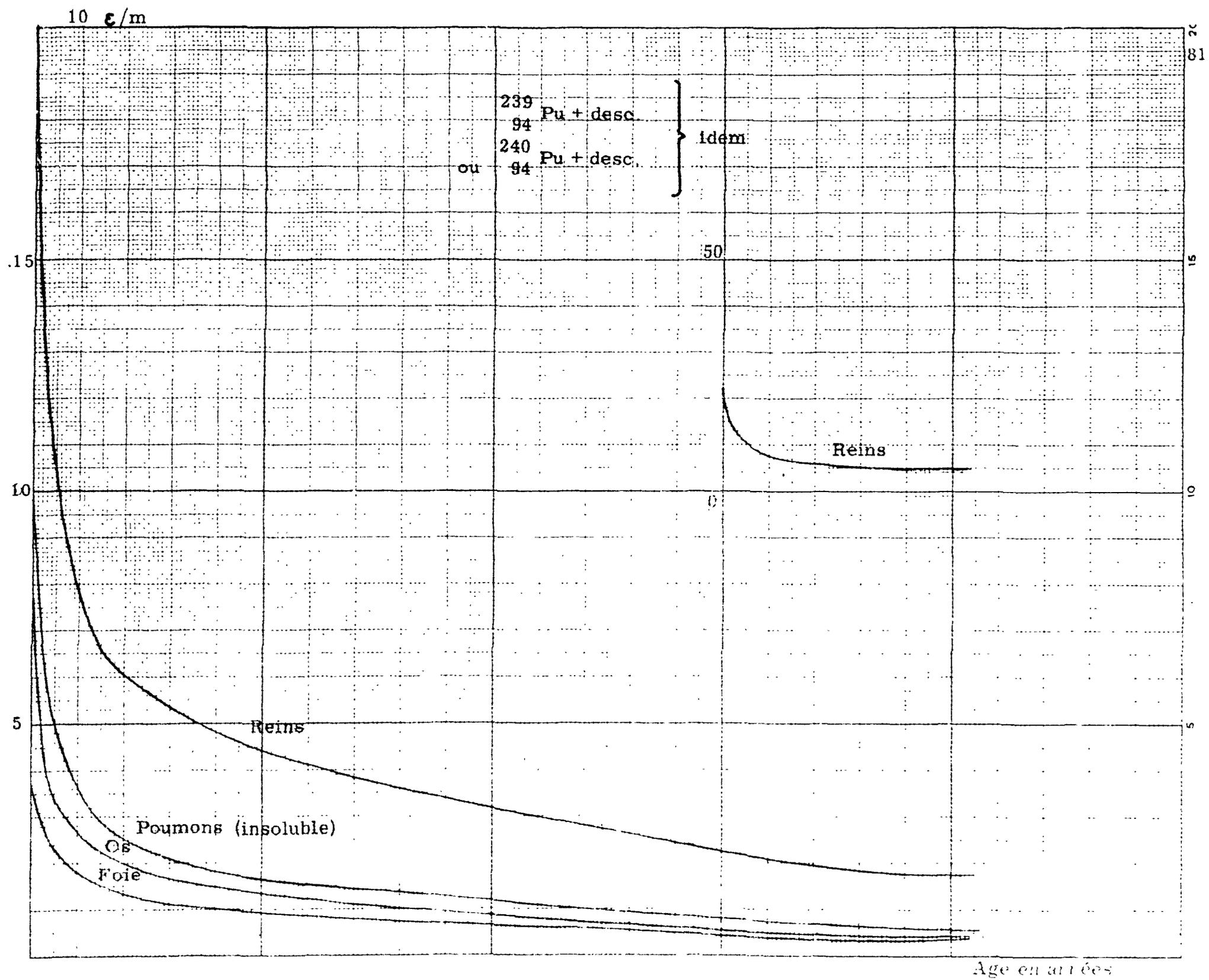
Age en années

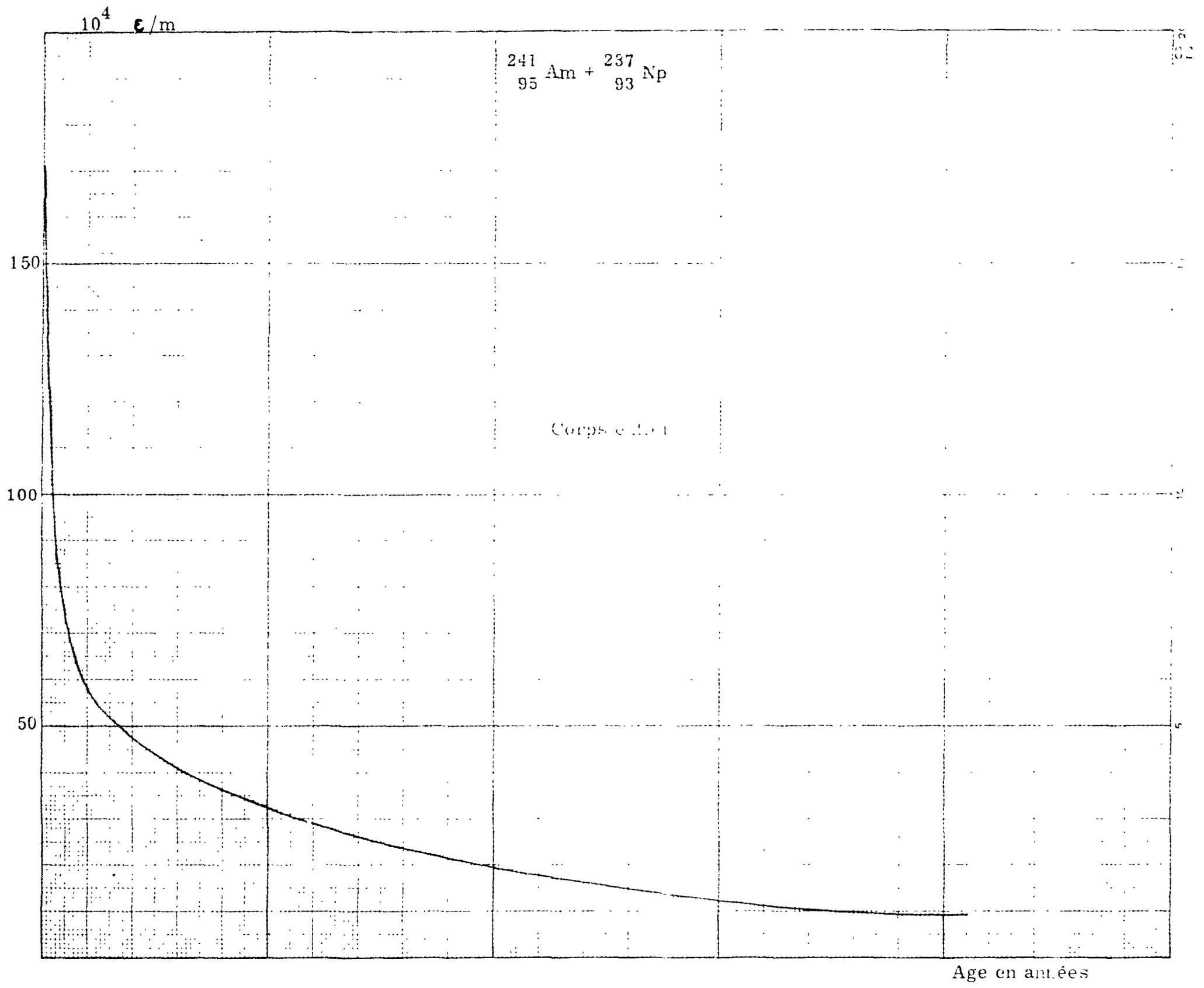


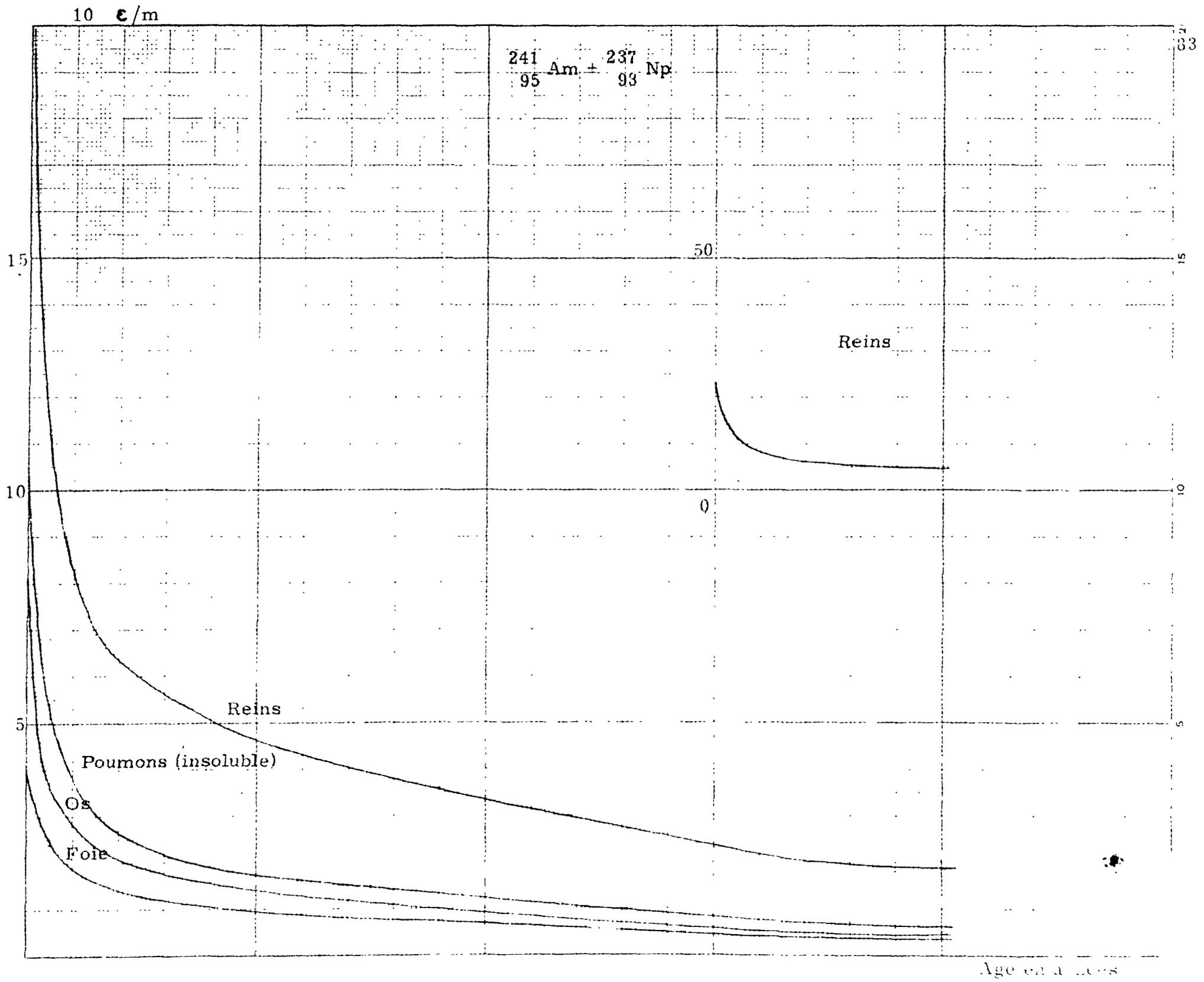








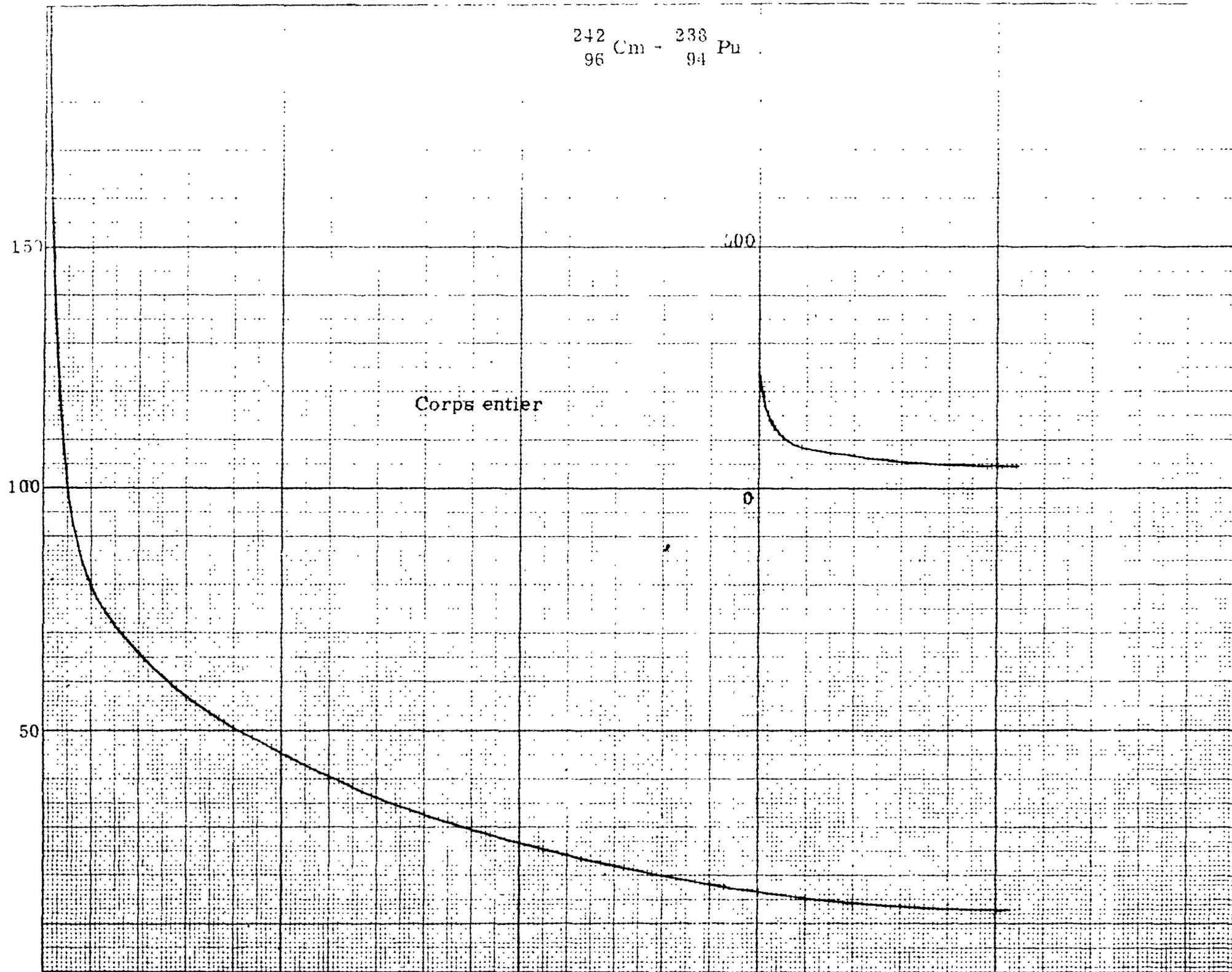




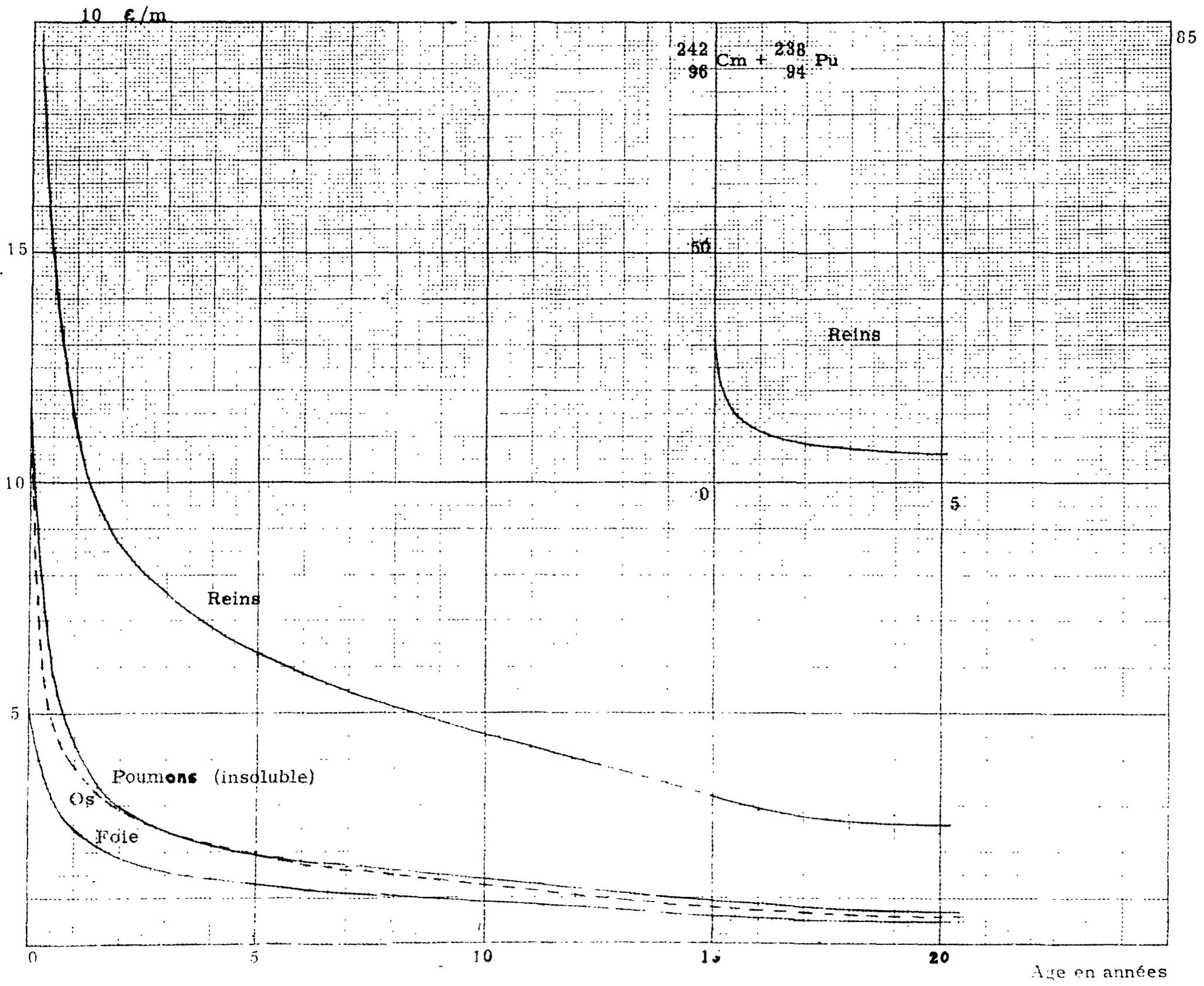
$10^4 \epsilon / m$

${}_{96}^{242}\text{Cm} - {}_{94}^{238}\text{Pu}$

34



Age en années



FIN