

MODÈLE MATHÉMATIQUE POUR LA DOSIMÉTRIE DU TRACTUS GASTRO-INTESTINAL

G. VACCA, J.P. BAZIN et L. KARHAUSEN*

Manuscrit reçu le 2 décembre 1969

RÉSUMÉ

Une méthode nouvelle permet le calcul de la dose délivrée à un niveau quelconque du tractus gastro-intestinal après ingestion de substances radioactives. Elle utilise d'une part la technique de calcul proposée par la C.I.P.R. et de l'autre la notion de concentration du radionucléide au cours de la progression du repas.

Un graphique simple met en relation la valeur de la concentration maximale admissible avec la période radioactive du radionucléide et le niveau considéré du tractus gastro-intestinal de l'adulte.

ABSTRACT

A new method is proposed for the computation of the dose delivered to any level of the gastrointestinal tract after ingestion of radioactive substances. The same method is used as that proposed by I.C.R.P. The concentration of the radionuclide during the progression of the meal is the central concept of this model.

A graph relates the M.P.C. with the radioactive half-life of the radionuclide and with any level of the gastrointestinal tract of adults.

INTRODUCTION

L'objet du présent rapport est de suggérer une nouvelle méthode permettant la détermination de la dose administrée à n'importe quel niveau du tractus gastro-intestinal (T.G.I.) après une ingestion orale de substances radioactives.

Les bases mathématiques de la dosimétrie du tractus gastro-intestinal ont été discutées par DOLPHIN et EVE [1]. Ces auteurs utilisent une méthode de calcul considérant chaque segment du T.G.I. comme constituant un organe distinct. Nous nous proposons d'examiner le cas d'une dosimétrie continue.

Notre détermination de la dose ne diffère pas fondamentalement de celle adoptée en 1959 par la Commission Internationale de Protection contre les Rayonnements (C.I.P.R.) [2]. A la différence de la C.I.P.R. cependant, nous ne nous contentons pas de calculer la dose au début de chacun des segments. Nous calculons la dose administrée à un niveau quelconque du T.G.I. en essayant de la relier à la concentration du radionucléide ingéré dans le contenu du tube digestif en ce lieu.

* Département de la Protection Sanitaire, Ensemble de Protection Générale, Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses.

Les travaux de BORGSTROEM nous ont permis d'établir une formule mathématique simple.

I - LE MODÈLE PHYSIOLOGIQUE

LE RAPPORT R

Le rapport R peut être défini comme suit :

$$R = \frac{A_0}{A + S} \quad (1)$$

A_0 , masse d'aliments ingérés,

A , masse de la fraction de A_0 atteignant un niveau donné du T.G.I.,

S , masse des sécrétions du tube digestif atteignant le même niveau.

Ce rapport R peut être déterminé en n'importe quel point du T.G.I.

L'ESTOMAC

Nous admettons que l'ingestion de chaque repas est quasi instantanée, que l'évacuation de l'estomac commence immédiatement et qu'elle se poursuit d'une manière exponentielle durant cinq heures. Au bout de ce temps, l'estomac peut être considéré comme vide, car il contient alors moins de 5 % de la masse initiale. L'absorption à travers les parois de l'estomac étant négligeable, le rapport R reste constant :

$$R = \frac{A_0}{A_0 + S}$$

A titre d'illustration, on peut admettre les valeurs suivantes :

$A_0 = 1\ 600$ g d'aliments + 1 000 g d'eau par 24 heures,

$S = 1\ 500$ g de salive + 2 500 g de suc gastrique par 24 heures,

d'où $R \approx 0,4$.

L'INTESTIN

La figure 1 montre le cheminement du « front » de l'ingérat tout au long de l'intestin.

Les dimensions des différents segments que nous avons utilisées sont indiquées ci-dessous [3, 4] :

	(cm)
duodénum	21
jéjunum	104
iléon	156
colon ascendant	12
colon transverse	34
colon descendant	20
sigmoïde	28



2. PETITE PLACE — 78 VERSAILLES

Tél. 951-29-30

FICHE D'INFORMATION

CURIE METRE NUMERIQUE



APPLICATION : MESURE DES SOURCES RADIOACTIVES.

DESIGNATION	CURIE METRE NUMERIQUE - ELSICINT DCM1.
APPLICATION	Mesure précise des sources radioactives de 10 microcurie à 1 Curie de 28 KeV à 1,33 MeV.
FONCTIONNEMENT	Chambre d'ionisation a puits et électromètre de précision à sortie numérique .
SPECIFICATIONS	<ul style="list-style-type: none"> ● Lecture à deux décades en μ Ci, mCi et Ci ● Gammes : 9,9 μ Ci - 99 μ Ci - 9,9 mCi - 99 mCi - 0,99 Ci ● Précision : 1 % en bout de gamme. ● Alimentation : 110 - 220 V - 50 Hz - 12 W ● Poids : 3 kg.
PERFORMANCES	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sortie numérique rapide ■ Alarme pour dépassement de gamme ■ Stabilité : 1 digit ■ Température de fonctionnement : 0 à + 55°.

Nous admettons que la durée du transit* est de six heures dans l'intestin grêle et de plus de huit heures dans le gros intestin. Nous supposons en outre que la masse des sécrétions est proportionnelle à celle des aliments à chaque niveau de l'intestin grêle. Ceci implique qu'en chaque point L du T.G.I., le rapport R_L reste constant au cours de la durée du passage de l'ingérat. Cette hypothèse semble raisonnable à la lumière des résultats publiés par BORGSTROEM [3] et DAHLQUIST [5].

Nous avons donc :

$$R_L = \frac{A_0}{A_L + S_L} \quad (2)$$

A_L , masse de la fraction de A_0 atteignant le point L ,
 S_L , masse des sécrétions atteignant ce même point.

La méthode de BORGSTROEM permet de suivre le passage de l'ingérat tout au long de l'intestin grêle. Une masse P de polyéthylène glycol (P.E.G.), substance soluble dans l'eau mais non absorbable, est incorporée de façon homogène dans un repas-test. Après ingestion, des échantillons sont prélevés en différents instants tout au long de l'intestin grêle et analysés. BORGSTROEM estime que le P.E.G. constitue un bon marqueur. Bien que ce point de vue ait été contesté [6, 7], nous considérons que les résultats obtenus par la méthode précitée sont suffisamment valables pour notre étude.

Entre l'origine et le point L , la concentration du P.E.G. passe de

$$C_{P,0} = \frac{P}{A_0} \quad \text{à} \quad C_{P,L} = \frac{P}{A_L + S_L}$$

Le rapport R_L devient

$$R_L = \frac{C_{P,L}}{C_{P,0}} = \frac{A_0}{A_L + S_L}$$

R_L est un rapport entre deux concentrations. C'est la concentration du marqueur non absorbable à un niveau quelconque du T.G.I. divisé par sa concentration dans l'ingérat.

Les figures 2 et 3 montrent les variations de R_L en fonction de L . Les coordonnées de la figure 3 sont semi-logarithmiques : le logarithme de R_L est une fonction linéaire de la distance L . Les lettres P , C et R indiquent les distances du nez au pylore, au cæcum et au rectum, respectivement. Les points indiquent les valeurs obtenues expérimentalement par BORGSTROEM [3]. Les valeurs correspondant aux points situés au-delà de 150 cm sont très dispersées. « La raison de telles différences peut être trouvée dans le fait que la matière est très visqueuse à ces niveaux et que la masse des matières dans le tube de prélèvement est très faible. Il est alors normal d'obtenir des teneurs plus faibles que les teneurs réelles » [3].

Les traits verticaux tracés au niveau du cæcum et au niveau du rectum indiquent entre quelles limites se situent les valeurs de R_L en ces points.

* Par « durée du transit », nous comprenons l'espace de temps écoulé entre le passage, en un point donné, du « front » et de la « queue » de l'ingérat. Nous désignons cette durée par la lettre grecque τ .

La relation

$$R_L = 0,25 e^{1,12 L} \quad (3)$$

dans laquelle L est la distance à partir du pylore, exprimée en mètres, fournit une bonne approximation des résultats expérimentaux.

A mesure que l'ingérat progresse dans l'intestin et que R_L croît en fonction de L , l'absorption décroît et nous pouvons admettre que la variation du taux d'absorption α_L est inversement proportionnelle à celle de R_L :

$$d\alpha_L = \frac{K}{R_L} dL$$

$$\text{d'où} \quad \alpha_L \simeq 1 - e^{-1,12 L} \simeq 1 - \frac{0,25}{R_L} \quad (4)$$

en posant :

$$\begin{aligned} \alpha_L &= 0 \text{ pour le pylore } (L = 0) \\ \alpha_L &\approx 1 \text{ pour le cæcum } (L = 2,85). \end{aligned}$$

La courbe correspondant à α_L peut être calculée et représentée. Elle se superpose correctement aux résultats obtenus empiriquement pour l'absorption de l'albumine [3] (fig. 4).

II - DOSE DÉLIVRÉE AU TRACTUS GASTRO-INTESTINAL

EQUATIONS GÉNÉRALES

L'équivalent de dose, exprimé en rems, délivré entre les jours t_0 et t_1 à un milieu de masse M grammes, par $Q \mu Ci$ d'un radionucléide dont le rayonnement a une énergie effective de ε MeV dans ce milieu, est fournie par la relation :

$$D = \frac{51 Q \varepsilon}{M} (t_1 - t_0)$$

Quand le radionucléide n'est pas incorporé dans l'organe, l'irradiation α et β se fait par contact.

Dans ce cas, la C.I.P.R. [2] admet que la dose délivrée à une section du T.G.I. doit être divisée par deux et que l'énergie effective des particules α doit être prise comme étant égale au centième de sa valeur théorique*.

Par suite, l'élément de dose en un point donné du T.G.I. au cours d'une brève période comprise entre les temps θ et $\theta + d\theta$, est

$$dD_L = \frac{51 Q_L}{2 M_L} \varepsilon d\theta \quad (6)$$

Q_L , activité atteignant le point L à l'instant t^{**} ,

* La question de la géométrie de 4π ou de 2π n'est pas discutée ici. Voir à ce sujet DOLPHIN et EVE [1].

** Nous désignons par t le temps nécessaire au « front » de l'ingérat pour atteindre le point L . Nous avons pris pour l'estomac $\tau = 5$ heures, pour l'intestin grêle $\tau = 6$ heures et pour le gros intestin $\tau > 8$ heures.

M_L , masse du contenu du T.G.I. en contact avec le point L à l'instant t ,
 θ , instant compris entre les instants t et $t + \tau$.

La valeur de l'activité Q_L est fournie par la relation

$$Q_L = f_L Q_0 e^{-\lambda_r \theta} = f_L A_0 C_0 e^{-\lambda_r \theta} \quad (7)$$

f_L , fraction d'un isotope stable du radionucléide considéré atteignant le point L ,
 λ_r , constante radioactive,
 A_0 , masse des aliments ingérés,
 C_0 , concentration à l'origine.

De (6) et (7), on tire :

$$dD_L = \frac{51}{2} f_L \frac{A_0}{M_L} C_0 \varepsilon e^{-\lambda_r \theta} d\theta \quad (8)$$

Le rapport $\frac{A_0}{M_L}$ est égal à R_L et conserve une valeur pratiquement constante au cours de la durée de passage τ au niveau L .

Par intégration entre les instants t et $t + \tau$, on obtient :

$$D_L = \frac{51}{2} f_L R_L C_0 \varepsilon e^{-\lambda_r t} \frac{1 - e^{-\lambda_r \tau}}{\lambda_r} \quad (9)$$

Si la concentration C_0 est égale à la concentration maximale admissible dans les aliments (C.M.A.), la dose quotidienne D_L doit être égale au septième de la dose maximale admissible hebdomadaire (D.M.A.). Pour trois repas journaliers de même importance, la relation (9) devient :

$$\frac{D.M.A.}{7} = 51 \varepsilon f_L R_L (C.M.A.) \left(\frac{3}{2} e^{-\lambda_r t} \right) \left(\frac{1 - e^{-\lambda_r \tau}}{\lambda_r} \right) \quad (10)$$

d'où

$$C.M.A. = 1,936 \times 10^{-3} (D.M.A.) \frac{1}{f_L R_L} \times \frac{1}{\varepsilon T^2} \quad (11)$$

avec

$$T^2 = \frac{3}{2} T_r e^{-\lambda_r t} (1 - e^{-\lambda_r \tau}) \quad (12)$$

INGESTION D'UN RADIONUCLÉIDE SOLUBLE

La fraction du radionucléide absorbé atteignant chaque point de l'intestin* est :

$$f_L = 1 - \alpha_L f_1 \quad (13)$$

De (4) et (13), on tire** :

$$f_L = 1 - f_1 + \frac{0,25 f_1}{R_L} \quad (14)$$

* Nous prenons pour f_1 (fraction de passage du T.G.I. au sang) les valeurs fournies par la C.I.P.R. [2].

** Pour l'estomac, $R_L = 0,4$ et $f_L = 1$; pour le gros intestin $f_L = f_{2,85}$.

Dans le cas d'une absorption totale dans l'intestin grêle $f_1 = f_L = 0,04$. En fait, un composé n'est jamais parfaitement soluble (ou insoluble) et ceci correspond à une valeur de f_L légèrement différente de zéro. Il est intéressant de noter, à ce sujet, que la C.I.P.R., sans le dire explicitement, utilise pour calculer les C.M.A. des substances dites entièrement solubles le facteur $f_L = 0,05$.

Dès lors, nous pouvons calculer la C.M.A. à n'importe quel niveau du T.G.I. (voir tableaux I et II).

TABLEAU I

EQUATION PERMETTANT LE CALCUL DE LA C.M.A. DANS LES ALIMENTS

$$C.M.A. = \frac{1,936.10^{-3} (D.M.A.)}{R_L f_L \varepsilon T^*}$$

$$T^* = \frac{3}{2} T r e^{-\lambda r t} (1 - e^{-\lambda r \tau})$$

C.M.A. ($\mu\text{Ci/g}$) : concentration maximale admissible.

D.M.A. (rems) : dose maximale admissible hebdomadaire.

$$R_L = 0,25 e^{1,12 L}$$

$$f_L = (1 - f_1) + \frac{0,25 f_1}{R_L}$$

 ε (MeV) : énergie effective $T r$ (jours) : période radioactive t (jours) : instant d'arrivée du front de l'ingérat τ (jours) : durée de transit L (mètres) : distance à partir du pylore $R_L = 0,4$ pour l'estomac f_1 : fraction du radionucléide ingéré qui parvient au sang $f_L = 1$ pour l'estomac $f_L = f_{caecum}$ pour le gros intestin λr : constante radioactive

III - APPLICATIONS

CONCENTRATION MAXIMALE ADMISSIBLE DANS LES ALIMENTS ET NIVEAUX CRITIQUES EN FONCTION DES PÉRIODES RADIOACTIVES

L'heure d'arrivée (t) du front de l'ingérat permet de situer le niveau de l'appareil digestif atteint par le bol alimentaire (voir fig. 1). La C.M.A. correspondante * varie selon la période radioactive du radionucléide. Ainsi, pour $t = 0$, la zone critique est constituée par l'estomac. La courbe « estomac » de la figure 5 fournit les valeurs de C.M.A. correspondantes en fonction des périodes radioactives. A chaque valeur de t correspond une zone et une courbe différentes. L'enveloppe de toutes ces courbes permet de connaître simultanément la C.M.A. et le niveau critique.

* En posant D.M.A. = 0,3 rem par semaine.

TABLEAU II
VALEURS UTILISABLES POUR LE CALCUL DES C.M.A.

Appareil digestif	Front de l'ingérat	L (mètres)	R_L	t (heures)	τ (heures)	Solubilité		
						Nulle $f_1 = 0$ $R_L f_L$	Partielle $0 < f_1 < 1$ $R_L f_L$	Totale $f_1 = 1$ $R_L f_L$
Estomac		—	0,4	0	5	0,4	0,4	0,4
Intestin grêle	Début du jéjunum	0,21	1/3	1/3	6	1/3	$f_L/3$	0,25
	Début de l'iléon	1,25	1	1	6	1	f_L	0,25
Gros intestin	Cæcum	2,81	6	6	8	6	$6 f_L$	0,25
	Début du transverse	2,93	6,75	6,75	≥ 8	6,75	$6,75 f_L$	0,27
	Début du descendant	3,37	10	10	≥ 8	10	$10 f_L$	0,4
	Début du sigmoïde	3,57	14	14	≥ 8	14	$14 f_L$	0,56

On peut avoir une idée relative des différentes C.M.A. en considérant un radionucléide sans descendant, de façon que l'énergie ε (MeV) reste la même au cours du temps.

Dans le cas d'un *produit insoluble*, le niveau critique de l'appareil digestif est directement lié à la période radioactive du nucléide :

- Pour $Tr < 3 \cdot 10^{-2}$ jour (environ 3/4 d'heure), l'organe critique est l'estomac,
- Pour $Tr = 3 \cdot 10^{-2}$ jour, le niveau critique se situe au début de l'iléon,
- Pour $3 \cdot 10^{-2} < Tr < 0,5$ jour, le niveau critique se trouve entre l'iléon et l'extrémité du gros intestin,
- Pour $Tr > 0,5$ jour, l'organe critique est constitué par le sigmoïde.

APPLICATION AUX SEGMENTS DU TUBE DIGESTIF, COMPARAISON AVEC LES AUTRES MÉTHODES

La C.I.P.R. (1959) fournit, pour l'eau absorbée, deux valeurs de C.M.A. applicables aux personnes exposées professionnellement : les C.M.A.-168 h/semaine et les C.M.A.-40 h/semaine. On passe des premières aux secondes par multiplication par le facteur 2,92*.

Les C.M.A. calculées par DOLPHIN et EVE [1] s'appliquent aux travailleurs exposés quarante heures par semaine.

Le modèle que nous proposons est relatif aux repas. Pour que les C.M.A. soient applicables aux travailleurs, il suffit de poser dans notre formule D.M.A. = 0,3 rem/semaine, à l'exclusion de la multiplication par le facteur 2,92.

Afin d'effectuer une comparaison avec les résultats fournis par les autres méthodes, nous avons déterminé les C.M.A. correspondant aux quatre segments classiques : estomac, intestin grêle, partie supérieure du gros intestin, partie inférieure du gros intestin. Pour cela, nous avons calculé la dose délivrée en un grand nombre de points de chaque segment de l'intestin. La C.M.A. se déduit facilement de la dose moyenne.

Nous avons utilisé les formules 16 et 19 de la C.I.P.R. 1959 [2] fournissant les C.M.A.-40 h/semaine et les formules A et B de DOLPHIN et coll. [1].

La figure 6 permet de comparer les courbes obtenues dans le cas d'un radionucléide insoluble et pour une énergie de 1 MeV.

Les trois méthodes font apparaître que l'estomac est l'organe critique pour les radionucléides de période radioactive inférieure à 3 à $5 \cdot 10^{-2}$ jour. Au-delà, pour DOLPHIN et EVE et pour nous, l'intestin grêle est l'organe critique jusqu'à une période voisine de 0,12 jour. Pour la C.I.P.R. (1959) et pour nous, l'ultime segment du tractus gastro-intestinal est l'organe critique dès que la période atteint environ 0,3 jour.

Nos résultats sont moins sévères que ceux des autres auteurs pour l'estomac et plus sévères pour le gros intestin.

* $2,92 = 2 \times \frac{365}{5 \times 50}$ (C.I.P.R., 1959 [2], p. 16, IV 4).

DISCUSSION

Le modèle mathématique décrit ci-dessus est basé sur la notion de concentration du radionucléide dans l'ingérat.

Cette concentration apparaît sous la forme du rapport Q/M dans la relation :

$$D = k \frac{Q}{M} \varepsilon \tau$$

D étant l'équivalent de dose,
 Q l'activité du radionucléide,
 M la masse de l'organe,
 ε l'énergie effective,
 τ la durée de séjour dans l'organe,
 et k un coefficient de proportionnalité.

Nous définissons la concentration d'un radionucléide en un point quelconque du T.G.I. par l'expression $R_L \times C_O$.

Les résultats des travaux de BORGSTROEM nous ont conduits à admettre que les variables R_L et α_L suivent des lois exponentielles. Le fait que la dispersion des valeurs obtenues croisse à mesure que l'ingérat progresse dans le T.G.I. est compatible avec le modèle exponentiel qui maintient constante l'erreur relative.

Pour les valeurs de t et de τ , nous avons utilisé les données de CANZLER [8, 9] et de KARHAUSEN [10]. Ces valeurs ont été obtenues dans certaines conditions expérimentales et doivent être utilisées avec précaution pour d'autres populations [11].

BIBLIOGRAPHIE

- [1] DOLPHIN G.W. and EVE I.S. Dosimetry of the gastrointestinal tract. *Health Physics*, **12**, 163-172 (1966).
- [2] MORGAN K.Z. (ed.). Report of Committee II on Permissible Dose for Internal Radiation. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, 1959, p. 19.
- [3] BORGSTROEM B., DAHLQUIST A., LUNDH G. and SJOVALL J. Studies of intestinal digestion and absorption in the human. *J. Clin. Invest.* **36**, 1521-1536, 1957.
- [4] HIRSCH J., AHRENS H. and BLANKENHORN D.H. Measurement of the human intestinal length in vivo and some causes of variation. *Gastroenterology*, **31**, 274-284, 1956.
- [5] DAHLQUIST A. and BORGSTROEM B. Digestion and absorption of polysaccharides in man. *Biochem. J.*, **81**, 411-418 (1961).
- [6] VARINKOVA H. and KRONDI A. Use of polyethylene glycol in investigations of absorption of fat. *Nature*, **208**, 293-294, 1965.
- [7] MATISON O., PIRMAN G. and LAGERLOF F. The small intestine transit time with a physiologic contrast medium. *Acta Radiol.*, **54**, 334-344, 1960.
- [8] CANZLER H. and GLATZEL H. Untersuchungen über die Verdaulichkeit tierischer und pflanzlicher Proteinträger ohne und mit Fettzusatz I Der Ablauf der Magenentleerung. *Nutr. Dieta*, **8**, 49-60, 1966.
- [9] CANZLER H. and GLATZEL H. Untersuchungen über die Verdaulichkeit tierischer und pflanzlicher Proteinträger ohne und mit Fettzusatz II Die Passage durch Dünn- und Dickdarm. *Nutr. Dieta*, **8**, 88-99, 1966.
- [10] KARHAUSEN L. and GLATZEL H. Investigations on gastrointestinal transit times. Excerpta Medica Monographs on *Nuclear Medicine and Biology* n° 1 — Gastrointestinal Radiation injury. Report of a Symposium, held at Richland, Wash. U.S.A., September 25-28, 1966.
- [11] EVE I.S. A review of the physiology of the gastrointestinal tract in relation to radiation doses from radioactive materials. *Health Physics*, **12**, 131-161, 1966.

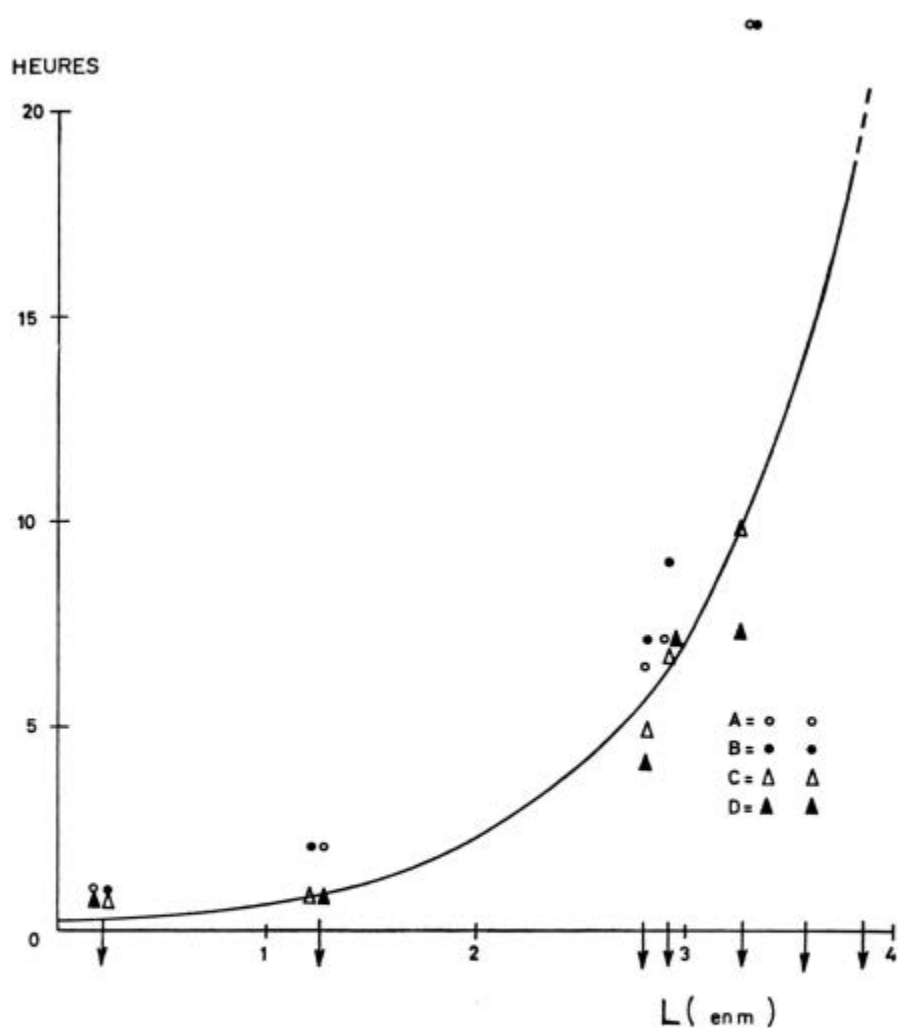


Fig. 1. — Progression du front de quatre repas-tests en fonction du temps après l'ingestion.

En abscisse : la position du front du repas exprimée en mètres à partir du pylore. Les flèches verticales délimitent les segments successifs : duodénum, jéjunum, iléon, côlon ascendant, transverse, descendant, sigmoïde, rectum.

En ordonnée : le temps t après l'ingestion du repas exprimé en heures.

Les valeurs utilisées sont celles publiées par KARHAUSEN et coll. [10] et correspondent à quatre repas-standards.

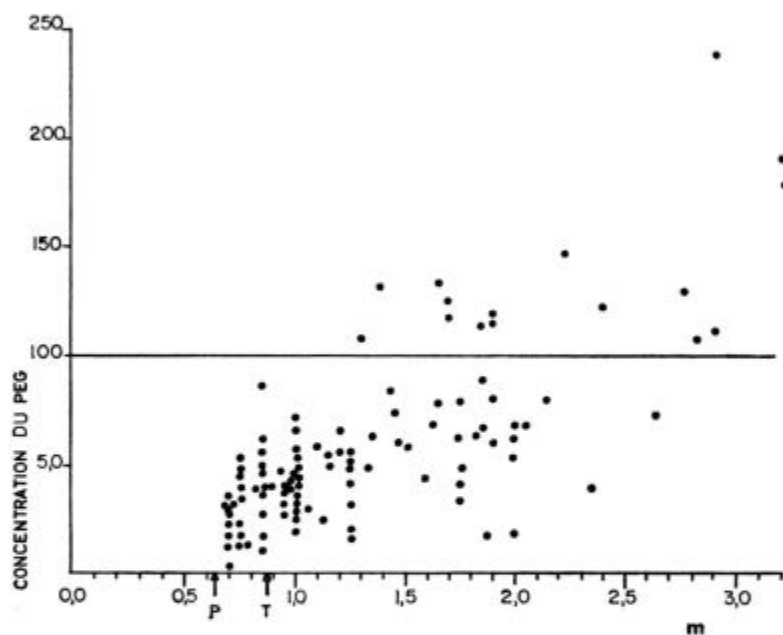


FIG. 2. — Concentration de PEG dans le contenu intestinal prélevé à divers niveaux de l'intestin grêle (d'après BORGSTROEM et coll. [3]).

En abscisse : distance à l'orifice nasal mesurée en mètres,

P = pylore,

T = début du jéjunum (ligament de TREITZ),

En ordonnée : concentration du PEG.

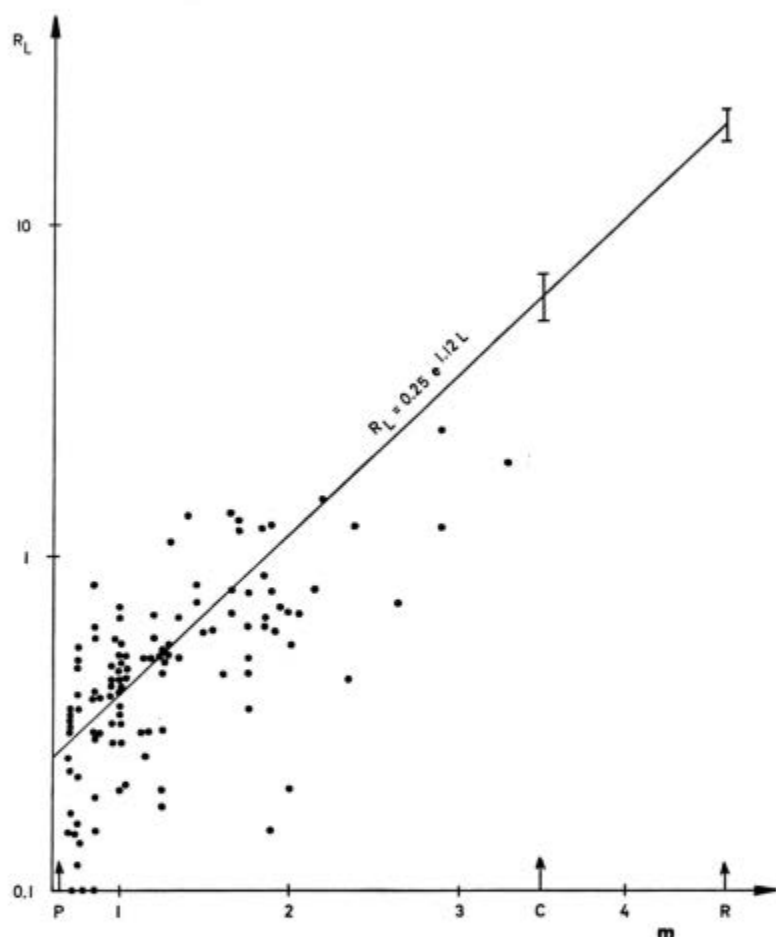


Fig. 3. — Evolution de R_L tout au long du T.G.I. (d'après BORGSTROEM).

En abscisse : distance des différents niveaux du tube digestif à partir de l'orifice nasal, exprimée en mètres.

En ordonnée : valeurs du rapport R_L (échelle logarithmique).

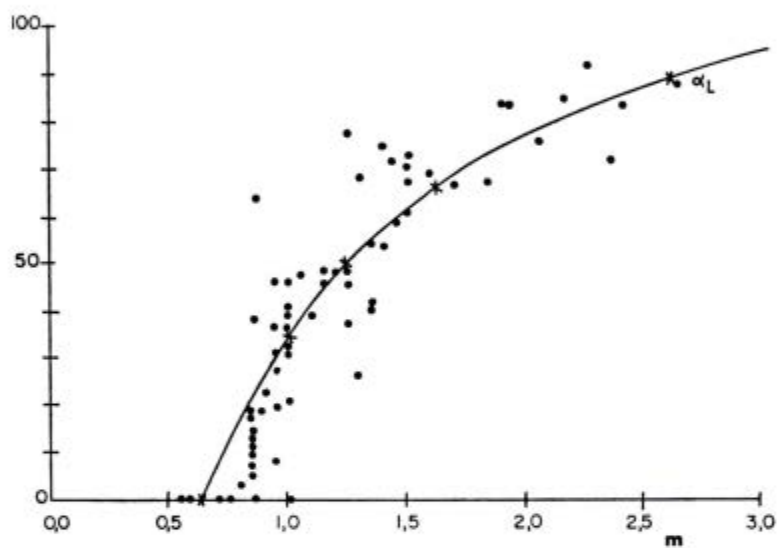


FIG. 4. — Comparaison des valeurs calculées pour α_L (courbe en trait plein) et des données expérimentales par mesure d'absorption de l'albumine marquée (points isolés).

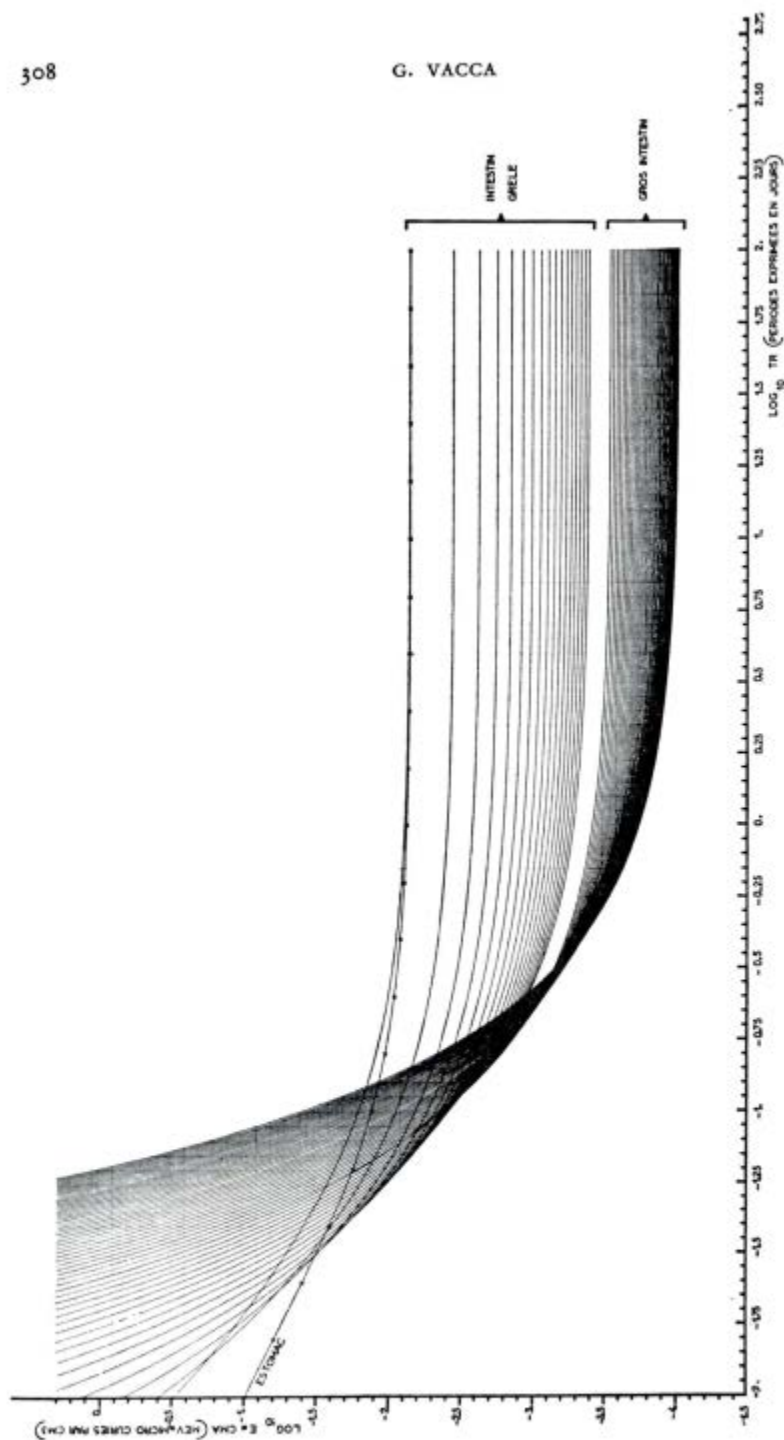


FIG. 5. — Correspondance entre la C.M.A. aliments et la période radioactive pour divers segments du tractus gastro-intestinal (énergie équivalente à 1 MeV).

Les courbes ont été établies pour des intervalles de temps consécutifs de 20 minutes.

L'abscisse représente le logarithme décimal de la période radioactive exprimée en jours.

L'ordonnée représente le logarithme décimal du produit de la C.M.A. aliments par l'énergie effective (MeV) (Tracé ordinateur IBM 360-50).

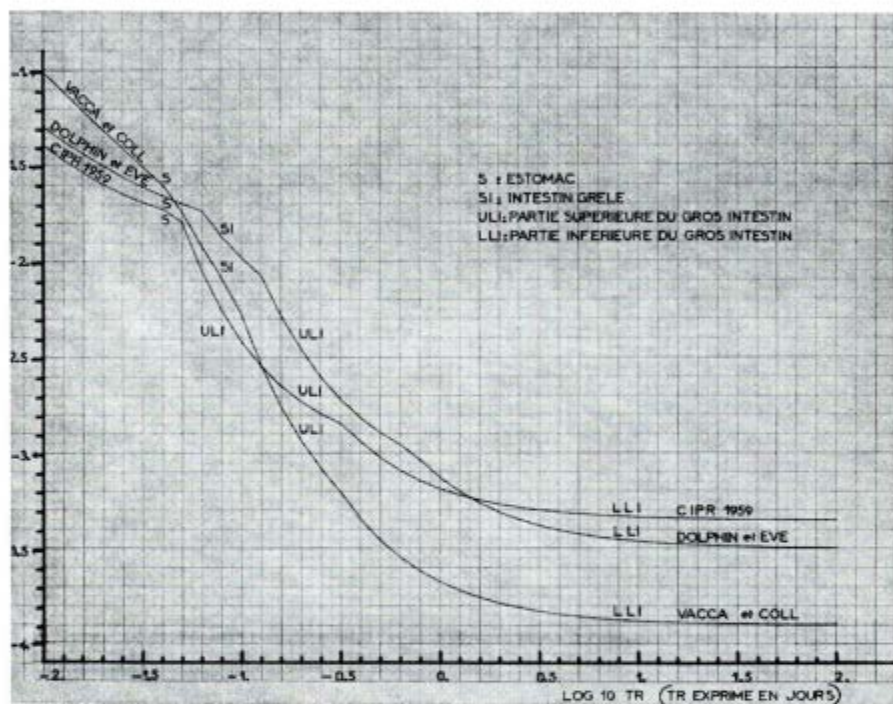


FIG. 6. — Comparaison des résultats obtenus par les diverses méthodes.

En abscisse : logarithme décimal de la période radioactive exprimée en jours.

En ordonnée : logarithme décimal du produit de la C.M.A. aliments, exprimée en $\mu\text{Ci/g}$, par l'énergie effective ε exprimée en MeV.