

Considérations sur les développements récents de la médecine nucléaire Le traitement des données

J. C. DEPRESSEUX⁽¹⁾, G. MERCHIE⁽²⁾

INTRODUCTION. ÉVOLUTION ACTUELLE DE LA MÉDECINE NUCLÉAIRE

L'Organisation mondiale de la Santé a récemment défini la médecine nucléaire comme la discipline médicale couvrant toutes les applications des sources radioactives non scellées au diagnostic et au traitement des maladies ou à la recherche médicale (1).

Cette définition unificatrice cerne la médecine nucléaire comme une discipline médicale bien caractérisée, englobant dans un ensemble historique, conceptuel, méthodologique et technique harmonieux, les applications des radioéléments au diagnostic médical, aussi bien dans ses aspects *in vivo* (scintigraphies, épreuves fonctionnelles diverses) que dans ses

applications *in vitro* (radio-immunologie, dosages par compétition).

Le diagnostic par administration d'indicateurs radioactifs au patient utilise un ensemble de techniques non traumatiques, permettant d'individualiser des structures organiques internes (organes ou portions d'organes) pour en mesurer les fonctions physiologiques ou biochimiques.

La convergence, dans la technique des examens et dans l'analyse des données, de concepts et de techniques de physique et de chimie nucléaires, de physique des détecteurs, de traitement des signaux, de modélisation mathématique, de biochimie, de physiologie et de pharmacologie, donne à la médecine nucléaire actuelle un caractère nettement multidisciplinaire, qui se traduit aussi bien dans le programme de formation des spécialistes de cette branche que dans la création d'équipes de recherches réunissant médecins et fondamentalistes (2). C'est également dans cet esprit pluraliste que sont organisées nombre de réunions scientifiques (3, 4).

(1) Chercheur qualifié au FNRS, Maître de Conférences, Université de Liège, Centre de Recherches du Cyclotron.

(2) Chef de Travaux, Maître de Conférences, Université de Liège, Institut de Médecine, Département de Clinique et de Sémiologie médicales (Pr. A. Nizet), Secteur de Médecine nucléaire.

Les progrès récents de la médecine nucléaire se manifestent par des développements conjoints et interactifs :

— de la technologie (détecteurs, ordinateurs, générateurs de radioéléments...);

— de la radiochimie médicale (synthèse de substances radiopharmaceutiques, amélioration des procédés de marquages et de contrôle de qualité chimique, radiochimique et radiopharmaceutique...);

— du traitement des données (statistiques appliquées, méthodes d'analyse numérique, modélisation...).

L'évolution actuelle de la médecine nucléaire englobe tous ces aspects qui doivent être assumés d'une manière aussi harmonieuse que possible, particulièrement dans les domaines de recherches à développement technologique lourd. Les progrès parallèles de la chimie des radioéléments produits par cyclotron, de la tomographie par détection de positrons et des méthodes de recherches biomédicales qui s'appuient sur ces techniques constituent un très bel exemple de ce type de développements à propos desquels on peut véritablement parler d'une stratégie de recherches (5).

LE TRAITEMENT DES DONNÉES EN MÉDECINE NUCLÉAIRE

Les techniques de traitement de l'information tiennent une place croissante dans les nouvelles applications de la médecine nucléaire.

Le développement de miniordinateurs et l'amélioration des performances de leurs périphériques d'acquisition, de stockage, de dialogue et de sortie, permettent de résoudre la plupart des problèmes informatiques propres à cette discipline.

En effet, la disponibilité de mémoires de grande capacité et d'accès rapide est rendue nécessaire par le type même de méthodes qui sont appliquées :

— études de dynamiques rapides nécessitant soit une acquisition instantanée et continue de données analysables (mode liste), soit une acquisition incrémentale de l'ordre de 10 msec;

— utilisation d'indicateurs de très courte période, avec taux de comptages élevés, pou-

vant atteindre 500.000 signaux par seconde ;
— traitement numérique de données cumulées ou reconstruction d'images tomographiques, occupant des volumes importants de mémoire d'ordinateur, pouvant atteindre 600.000 bytes et plus.

La diminution abrupte du coût des ordinateurs et de l'espace mémoire crée aussi une conjoncture favorable au développement des applications de recherches et elle permet, en outre, la concrétisation de ces travaux dans le domaine biomédical, par l'équipement de services de médecine nucléaire clinique.

Les applications actuelles où la maîtrise technique et méthodologique du traitement des données apparaît dans toute son importance sont surtout la gestion de l'acquisition des données, leur traitement primaire, leur analyse paramétrique et, enfin, la reconstruction tomographique des images.

1. La gestion de l'acquisition des données

Les dispositifs de détection séquentielle asservie au phénomène physiologique étudié ou la commande par ordinateur des différentes phases d'un examen sont deux applications illustrant l'intérêt de cette gestion de l'acquisition des données.

C'est ainsi que l'image de cavités ventriculaires cardiaques (6), obtenue par la détection par caméra à scintillations d'un indicateur vasculaire, peut être acquise en continu, puis découpée pour chaque cycle cardiaque en périodes d'acquisition distinctes, ensuite moyennée pour chacune de ces périodes sur un grand nombre de cycles. Cette méthode permet l'obtention d'images contenant un grand nombre d'informations et le découpage de la scintigraphie des cavités cardiaques en images successives pouvant atteindre une fréquence de 16 images par seconde.

La commande par l'ordinateur du déroulement même de certains examens peut aussi être nécessaire par suite de la complexité de leur déroulement; c'est le cas par exemple de la mesure du débit sanguin cérébral par inhalation de xénon 133, où l'acquisition du bruit de fond et la commande des vannes des circuits respiratoires sont commandées directement par l'ordinateur (7).

2. Le traitement primaire des données

Ce traitement primaire peut aboutir, d'une part, à des corrections, et d'autre part, à des mises en forme des données.

Une correction des données de comptage est souhaitable chaque fois que les facteurs de distorsion ou du bruitage du signal sont mesurables ou calculables. De nombreux exemples de ces corrections peuvent être donnés.

— La soustraction du bruit de fond radioactif et électronique des données globales de détection est un premier exemple. Dans certains cas, l'aide d'un ordinateur peut être précieuse pour la soustraction d'un bruit de fond variable, résultant de l'interférence de la radioactivité d'organes voisins avec celle de l'organe étudié.

— Dans les systèmes à détecteurs multiples, il est souvent utile de corriger les données pour tenir compte des différences de calibration et de résolution intrinsèque de ces différents détecteurs.

— La correction des images pour l'inhomogénéité de détection des caméras à scintillations peut être réalisée par diverses techniques gérées par ordinateur.

— La correction scintigraphique de l'image d'organes mobiles peut être réalisée par traitement primaire des données, notamment par réalisation d'images séquentielles rapides et centrage de leur centre de gravité.

— Le traitement des données assisté par ordinateur permet également un large éventail de mise en forme de l'information, aussi bien dans la présentation de courbes temporelles de

radioactivité (changement d'échelles, contraction ou dilatation des coordonnées, superposition de courbes....) que dans celle d'images (présentation sous forme d'isocontours, lissages, digitalisation bi- ou tridimensionnelle,...).

3. L'analyse multiparamétrique des données

Un des aspects les plus remarquables du développement de la médecine nucléaire de ces dernières années est son ouverture vers des études physiologiques ou métaboliques, basées sur l'élaboration de modèles de dynamique et d'échanges des indicateurs utilisés, sur la conception de formules mathématiques représentant quantitativement ces échanges et, enfin, sur la construction de méthodes d'analyse numérique, permettant de calculer, à partir de ces équations et des données de détection, des paramètres interprétables en termes de fonctions.

La masse des données à traiter et la complexité des traitements numériques rendent nécessaire l'aide d'un calculateur de grande puissance pour réaliser ces traitements.

Les résultats, c'est-à-dire les paramètres physiologiques calculés, sont présentés, soit sous forme de liste, soit sous forme plus parlante d'une « image multiparamétrique ». Celle-ci présente sous forme codée, en gris ou en couleurs, la distribution spatiale des valeurs calculées.

Des exemples très caractéristiques de ce type d'images paramétriques sont illustrés dans quelques applications : la mesure du débit sanguin cérébral régional obtenu par inhalation de ^{133}Xe (fig. 1) (7), la mesure de la fraction d'éjection du

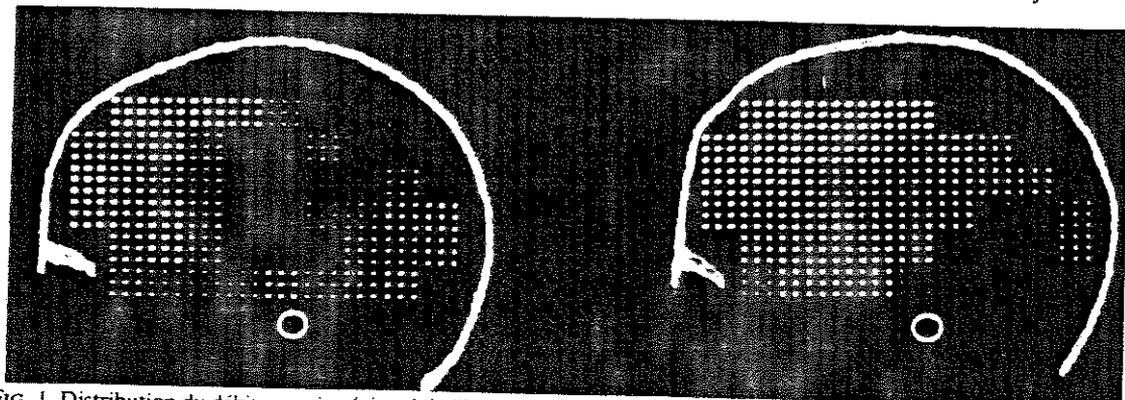


FIG. 1. Distribution du débit sanguin régional de l'hémisphère gauche, obtenue par injection de xénon 133 dans la carotide interne, détection de la radioactivité par caméra à scintillations et analyse de la clearance du cerveau en xénon. La brillance de l'image fonctionnelle est proportionnelle aux débits sanguins régionaux : à gauche, un cas d'ischémie rolandique gauche ; à droite, un cas d'ischémie occipitale gauche.

ventricule gauche (fig. 2) (6) et la mesure de l'index de perfusion rénale au cours du néphrogramme isotopique (fig. 3).

4. La reconstruction tomographique des images

La tomographie par émission, particulièrement par émission de positrons, est un domaine de la médecine nucléaire où la convergence des idées et des techniques apparaît porteuse de développements révolutionnaires dans le présent et dans le proche avenir.

Les apports de cette nouvelle méthodologie se concrétisent actuellement grâce à la convergence, d'une part, de la production d'émetteurs de positrons, d'autre part, de l'élaboration de nombreuses substances radiopharmaceutiques à intérêt métabolique ou pharmacologique marquées par ces nouveaux radio-isotopes et, enfin, la mise au point de nouveaux détecteurs tomographiques (5). Le développement de nouvelles générations de tomographes à émission de positrons de haute performance est un des phénomènes les plus prometteurs de la médecine nucléaire actuelle (8).

Ces dispositifs reconstruisent une image tomographique transaxiale qui se présente comme une véritable autoradiographie *in vivo* de la distribution de l'indicateur émetteur de positrons dans l'organisme auquel il a été administré (fig. 4).

Ce mode de détection et de reconstruction d'images a pour caractéristiques une résolution spatiale et une sensibilité généralement constantes sur toute l'étendue du champ de détection, une sensibilité élevée et, enfin, la possibilité d'une calibration des mesures par l'introduction de standards externes.

Les voies principales selon lesquelles ces systèmes évoluent actuellement pour offrir les performances optimales aux études fonctionnelles sont :

- l'amélioration du rapport signal/bruit et de la résolution spatiale par minimisation ou par soustraction des coïncidences fortuites;

- la mise au point de dispositifs à coupes simultanées, réalisant en un seul cycle de détection l'examen complet de l'ensemble du volume-objet;

- l'utilisation de cristaux et de circuits à réponse rapide, en vue de permettre la détection de hauts niveaux d'activité et d'envisager

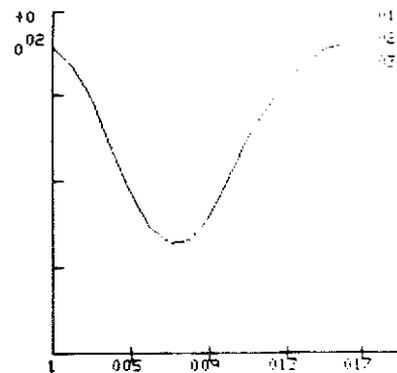
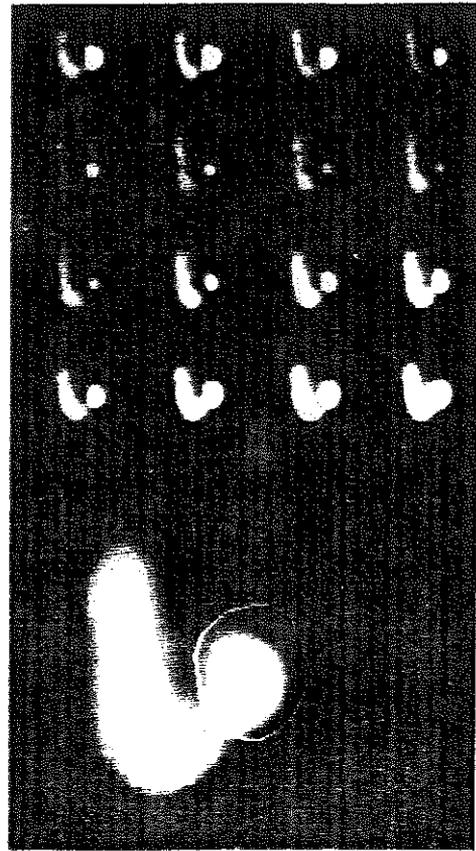
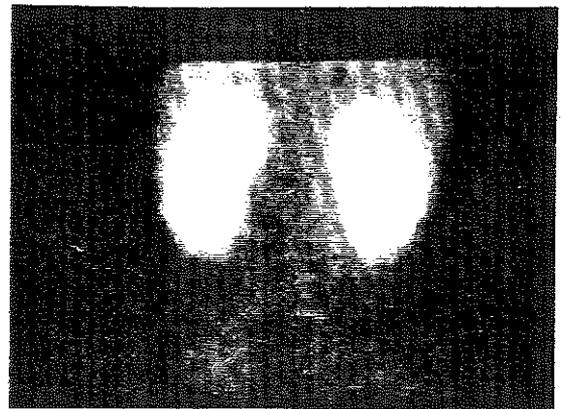
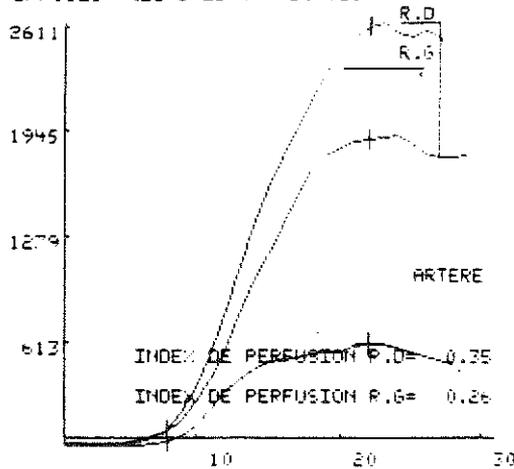


FIG. 2. Etude radio-isotopique de la dynamique ventriculaire cardiaque : image du *pool* sanguin ventriculaire, obtenu à la caméra à scintillations après injection de ^{99m}Tc -sérumalbumine : division du cycle systolo-diastolique moyen en 16 images : sélection d'une zone d'intérêt ventriculaire gauche et tracé de la courbe d'activité, fonction du volume ventriculaire, au cours d'un cycle cardiaque moyen.



PERFUSION REINS DE 0 À 30 SEC.



NÉPHROGRAMME ISOTÓPIQUE DÉTÀ 30 MIN.

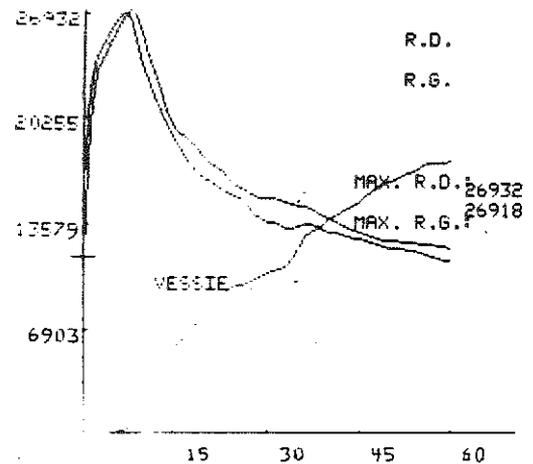


FIG. 3. Angioscintigraphie rénale au ^{99m}Tc -DTPA : en haut et à gauche, stade angiographique (de la 10^e à la 20^e seconde après l'injection iv), avec zone d'intérêt sur l'artère iliaque droite ; en bas et à gauche, courbes d'arrivée artérielle du bolus radioactif, avec calcul des indices de perfusion de chacun des deux reins ; en haut et à droite, stade néphrographique (5^e minute après l'injection) ; en bas et à droite, néphrogramme isotopique et courbe de remplissage vésical.

la possibilité d'études de dynamique régionale par tomographie ;

— l'introduction, grâce à ces systèmes rapides, de la mesure du temps de vol des photons incidents, pour améliorer les algorithmes de reconstruction d'images.

A côté de la tomographie par émission de positrons, le développement actuel de techniques de tomographie par émission γ permet d'envisager la réalisation d'études tomographiques au moyen de radio-isotopes plus communément disponibles, tels que le technétium 99m . Ces systèmes de tomographie γ utilisent une détection par sondes multiples ou par γ -caméra, avec rotation ou translation, soit

du patient, soit des détecteurs, avec divers systèmes de collimation et, enfin, divers procédés de codage ou de reconstruction des données. Ici aussi, l'ordinateur a une fonction importante, tant pour la gestion de l'acquisition des données que pour leur traitement ultérieur.

CONCLUSIONS

Trois thèmes généraux apparaissent à la lumière de l'évolution actuelle de la médecine nucléaire et plus particulièrement du rôle que le traitement des données joue dans ce développement.

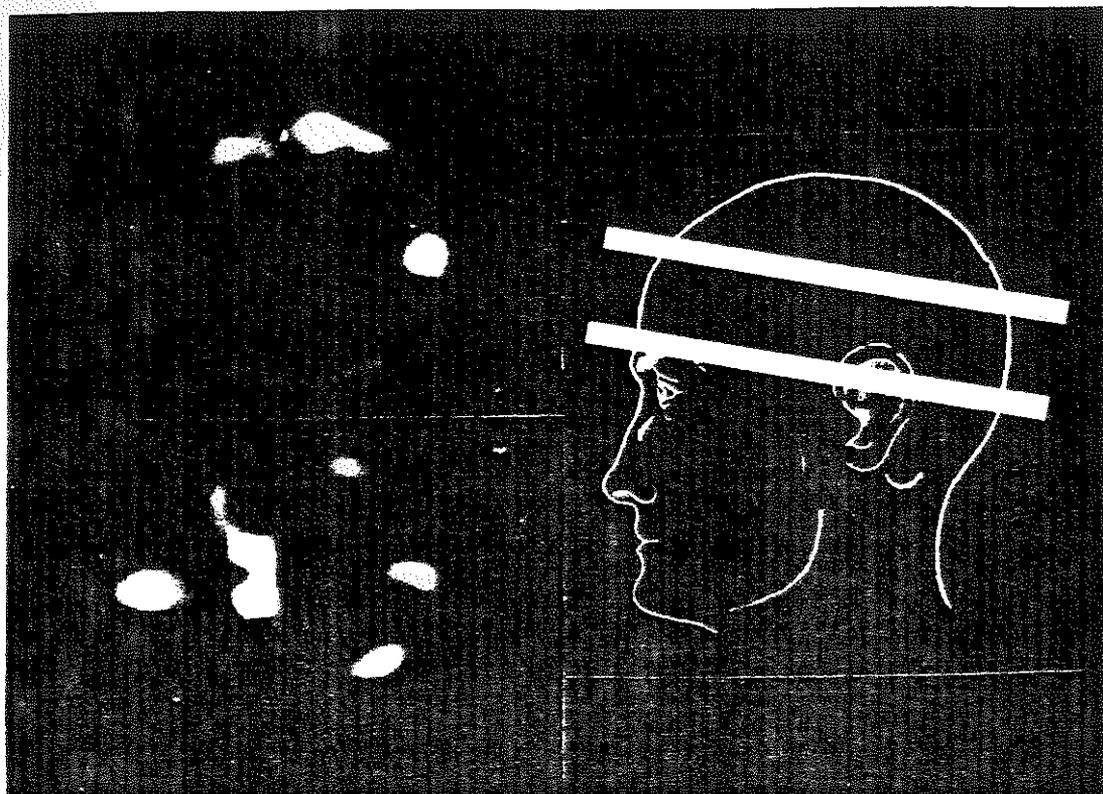


FIG. 4. Tomographie par émission de positrons du *pool* sanguin central, obtenu par inhalation de ^{14}C O.

Au plan *scientifique*, la médecine nucléaire est engendrée d'une manière continue au confluent des sciences nucléaires fondamentales, des sciences de la vie et de la médecine, et elle hérite de tout le potentiel de la méthodologie des traceurs, qui est véritablement la colonne sur laquelle elle est bâtie. Elle étudie donc, par essence, des processus fonctionnels dans l'organisme humain valide et, surtout, malade. Les problèmes d'acquisition et de traitement des données apparaissent donc un véritable paradigme de la médecine nucléaire et ils conditionnent étroitement, d'une part, la possibilité d'améliorer la qualité des images et, d'autre part, la maîtrise des modèles qui en

permettent l'interprétation.

Au plan de l'*enseignement*, l'utilisation croissante des ordinateurs en médecine nucléaire et cette importance irréversible que le traitement des informations prend dans l'élaboration et dans l'interprétation des données, font que le spécialiste en médecine nucléaire pourra de moins en moins ignorer les éléments d'informatique qui lui sont nécessaires et qu'il ne pourra rester un autodidacte en cette matière.

Dans les centres d'excellence, la multidisciplinarité des équipes de médecine nucléaire s'est déjà révélée un germe très fécond de progrès et cette collaboration entre médecins et autres scientifiques aura vraisemblable-

ment tendance à se généraliser.

Au plan de la *santé*, il apparaît clairement ici que le progrès technologique n'a pas seulement un aspect matérialiste, mais qu'il est aussi impliqué dans l'évolution conceptuelle et éthique des disciplines scientifiques.

La médecine nucléaire groupe des explorations non traumatiques dont les informations fonctionnelles sont dès à présent précieuses pour le diagnostic. Le traitement des informations améliore la qualité des résultats obtenus et il en étend le champ.

Aussi, permet-il à la médecine nucléaire d'atteindre une qualité scientifique croissante et ainsi de réaliser l'idéal d'une médecine plus utile à l'individu et à la société.

BIBLIOGRAPHIE

1. ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE. — *Médecine nucléaire*. Organisation mondiale de la Santé, Genève, 1976. Rapport technique n° 59. 8.
2. DEPRESSEUX, J. C., MERCHIE, G., BARTSCH, P., GOUTIER, R. — Le cyclotron médical : une nouvelle instrumentation en médecine. *Rev. méd. Liège*, 1980, **35**, 73-76.

3. *Premier Colloque des Préparateurs et Utilisateurs de Radioéléments à Usage médical, non commercialisés et préparés avec des Accélérateurs de particules chargées*. Presses universitaires de Grenoble, 1978.
4. GARSOU, J., GORDENNE, W., MERCHIE, G., Ed. — *Comptes rendus du Symposium international, Fondements des nouveautés techniques en échographie, planning dosimétrique et traitement des informations en médecine nucléaire, Liège-Belgique, 11-12 mai 1979*. Presses universitaires de Liège, Liège, 1979.
5. DEPRESSEUX, J. C. — A review of the positron emission tomography and of its applications. *J. belge Radiol.*, 1977, **60**, 483-500.
6. RIGO, P. — Méthodes d'investigation isotopique en pathologie cardio-vasculaire. Applications cliniques. *Rev. méd. Liège*, 1979, **34**, 282-289.
7. DEPRESSEUX, J. C., MILET, J., BONNAL, J. — La mesure du débit sanguin cérébral régional par inhalation de xénon 133. *Rev. méd. Liège*, 1979, **34**, 403-412.
8. TER-POGOSSIAN, M. M. — Basic principles of computed axial tomography. *Semin. nucl. Med.*, 1977, **7**, 109-128.

**

Les demandes de tirés à part doivent être adressées au D^r J. C. Depresseux, Centre de Recherches du Cyclotron, Bâtiment B30, Sart Tilman, 4000 Liège.