

REALISATION ET EXPLOITATION D'UNE CAMPAGNE DE MESURES DES EMANATIONS RADON DANS LE BASSIN DE MONS, ESSAI D'APPLICATION A LA PREVISION DES RISQUES SISMIQUES.

par

CHARLET J.-M., DOREMUS P., QUINIF Y., LOSFELD A. & GARCIA F.

(8 figures)

RESUME.- Après une revue et une discussion des nombreuses publications scientifiques sur la méthode radon dans la prévision des séismes, les auteurs présentent la campagne radon développée par leur laboratoire dans le Bassin de Mons caractérisé par des environnements géologiques variés, une zone sismiquement active et un réservoir géothermique. Les effets des conditions météorologiques et d'une séquence sismique sont discutées. Le développement d'un nouvel appareillage de mesure continue radon basé sur un détecteur au charbon actif est finalement présenté.

ABSTRACT.- After an overview and a discussion of the large number of scientific papers about radon method in earthquake prediction, the authors present the radon survey developed by their laboratory in the Mons Basin characterized by various geological environments, a seismic active zone and a geothermal reservoir. The effects of the meteorological conditions and of a seismic sequence are discussed. The development of a new device of continuous radon monitoring using a charcoal detector is presented.

1. INTRODUCTION position du problème

Dès 1927, des anomalies radon dans des sources thermales furent signalées comme étant en relation avec l'activité sismique (Shiratoi). Ces observations constituèrent le point de départ d'une méthode de prévision qui devait connaître des développements importants tout en restant très controversée sur la nature des mécanismes responsables de ces anomalies. Nos travaux basés sur une certaine expérience dans le domaine des techniques gaz en prospection ont pour objectif d'apporter des éléments nouveaux de discussion dans la recherche des relations radon-séismes.

L'examen de l'importante littérature scientifique récente permet d'en extraire les points suivants qui peuvent servir de base à toute discussion:

- les anomalies radon peuvent parfois être détectées à plusieurs centaines de kilomètres de l'épicentre. On a signalé le cas d'anomalies détectées dans les sols à des distances de 120 à 230 km de l'épicentre de séismes de magnitude 4,3 à 5,1 (Abduvaliyev *et al.*, 1985) et le cas d'anomalies détectées dans des puits ou des sources à des distances de 500-600 km de l'épicentre de séismes de magnitude 7-7,5 (Zhengmeng Li, 1986).
- la distribution des anomalies est hétérogène (Zhengmeng Li, 1986) et leur plus forte concentration ne correspond pas nécessairement à la proximité de l'épicentre. C'est ainsi que sur 35 puits et sources ayant montrés des anomalies lors du séisme de Tangshan (magnitude 7,1-7,8; 1976) deux seulement étaient localisés à moins de 100 km de l'épicentre et neuf entre 500 et 600 km de celui-ci. Toutefois, on a observé une migration dans le temps des

anomalies qui en première approximation permettrait de situer la zone de l'épicentre: les anomalies étant d'autant plus précoces qu'elles sont éloignées de celui-ci. Li (1981) a estimé la vitesse de migration de l'anomalie à 40 km/jour pour le séisme de Tangshan.

- dans l'évolution temporelle des concentrations en radon avec l'activité sismique, on peut distinguer plusieurs étapes: une augmentation progressive étalée dans le temps (environ un an avant le séisme), une anomalie plus limitée (deux à six mois), une montée très brutale quelques jours à quelques semaines avant le séisme. Ces trois étapes successives ne sont pas toujours présentes mais le pic aigu de montée en radon est le plus généralement observé.
- il n'y a pas de corrélation évidente entre l'amplitude des anomalies, l'intensité des séismes et la proximité de l'épicentre. Par contre, l'étalement de l'anomalie dans le temps semble augmenter avec l'intensité des séismes (Chi-Yu-King, 1985).
- des séismes de faible amplitude peuvent également entraîner des anomalies radon. Antsilevich (1971) signale plusieurs anomalies avec des amplitudes atteignant 20% du bruit de fond et se prolongeant pendant 3 à 8 jours avant de petits séismes de magnitude 3 à 3,5.
- si la plupart des travaux concernent le radon dans l'eau (puits, sources, ...), des résultats positifs ont également été obtenus par des mesures effectuées dans les sols (Abduvaliyev *et al.*, 1985; King et Slater, 1978).

De ces différentes observations il apparaît donc que des variations des concentrations en radon dans les sols ou les eaux peuvent être en relation avec des phénomènes de déformation de la croûte terrestre.

Les véritables mécanismes responsables de cet effet radon font cependant l'objet de nombreuses hypothèses (Zhengmeng Li, 1986). On peut souligner la faible demi-vie du radon (3,8 jours) et donc la nécessité pour pouvoir expliquer son origine profonde d'admettre des vitesses de transport très grande selon un mécanisme à préciser (en solution dans les aquifères, ...). Un modèle original fut récemment proposé par Monnin et Seidel (1988). Ces auteurs s'intéressant aux variations de concentration du radon dans les sols montrent que celui-ci peut être d'origine superficielle, les fortes concentrations observées avant un séisme étant dues à un entraînement du radon par des gaz d'origine plus profonde. «En d'autres termes le radon jouerait le rôle d'un traceur radioactif des fluides interstitiels». Des modèles ont été établis en régime stationnaire et transitoire. Ils montrent que :

- selon la position du point de mesure par rapport à la source radon et la vitesse des gaz interstitiels, l'anomalie radon peut en régime stationnaire être positive ou négative, les deux cas furent d'ailleurs observés dans la nature.
- en régime transitoire, un mouvement ascendant de gaz «profonds» conduit à la formation d'une anomalie radon intense et de courte durée dont l'amplitude se situe dans la proportion 1 à 10⁴ par rapport à la valeur «normale» en régime stationnaire. C'est le «kloudon» («vague» en grec) constitué d'une émission de courte durée qui précède le séisme.

Si la variation de concentration en radon dans le sol ou les eaux peut être considérée comme un phénomène précurseur de séismes, il faut toutefois signaler que des fluctuations temporelles des concentrations peuvent être liées à de nombreux phénomènes climatiques et météorologiques. À ce point de vue les mécanismes de migration du radon dans les sols font fréquemment appels au transport de ce gaz inerte soit en solution dans l'eau, soit entraîné dans des gaz comme le CO₂ (Chi-Yu-King, 1986). C'est ainsi que la teneur en radon dans les sols peut être influencée par de nombreux facteurs qui agissent directement ou indirectement sur les teneurs en eau ou en CO₂ dans la subsurface: température de l'air, pluviométrie, niveau piezométrique, concentration de CO₂ dans l'eau, pression barométrique, action du vent (lié à un mouvement des gaz du sol vers le haut appelé effet de Bernoulli). L'action du CO₂ peut par exemple être en relation avec des changements de température qui entraînent des variations dans le métabolisme des micro-organismes des sols et conduisent finalement à un effet diurne sur les concentrations en radon. L'influence de ces facteurs peut être multiple. On cite souvent :

- l'influence de la pression atmosphérique dont la diminution conduit à une augmentation de la concentration du radon dans le sol (effets de pompage).
- l'effet de la pluviométrie et de l'humidité qui augmente la concentration de radon dans le sol (par augmentation du CO₂ d'origine biogénique, par augmentation des mouvements de radon de la roche vers les pores saturés en eau, ...).
- l'effet des variations de température saisonnière attribué pour certains auteurs à des changements dans la circulation des gaz dans les sols, pour d'autres à des artefacts expérimentaux.

Il est à noter que la concentration en gaz des aquifères profonds, confinés tels que ceux liés aux sources thermales ne sont habituellement pas ou peu influencés par les changements

météorologiques (Sugisaki *et al.*, 1981). L'effet des variations climatologiques peut également être très variable suivant la nature des sols. Thomas *et al.* (1986) montraient à Hawaii un effet tout à fait négligeable de la pluviométrie dû à une grande perméabilité des sols volcaniques et à l'absence de saturation des pores en eau. Schery et Siegel (1986) montraient le rôle des canaux dans le transport du radon dans les sols et l'intérêt de considérer des modèles de transport en milieu hétérogène.

2. L'organisation d'une campagne de mesures dans le Bassin de Mons, constitution d'une base de données.

Depuis 1979, l'équipe GEP de la Faculté Polytechnique de Mons a orienté une partie de ses activités de recherches vers les techniques gaz appliquées, dans une première étape, à la prospection des gisements cachés d'uranium (Charlet *et al.*, 1982; Quinif *et al.*, 1984; Doremus *et al.*, 1987).

En s'appuyant sur l'expérience acquise dans ce domaine, une campagne de mesures fut programmée dès 1983 dans le Bassin de Mons

caractérisé par une activité sismique significative et des environnements géologiques variés (Bouko *et al.*, 1985). Les mesures sont effectuées grâce à des détecteurs au charbon actif implantés dans le sol, récupérés tous les quinze jours et comptés au laboratoire sur une chaîne de spectrométrie gamma.

Les sites d'implantation ont été sélectionnés en couvrant une série d'environnement géologique et radiométrique différent (fig. 1).

On peut distinguer (fig. 2):

- le site de Cipli (Cipli 4) avec une source radon peu profonde représentée par la Craie phosphatée radioactive;
- l'Héribus avec une couverture sableuse à perméabilité intergranulaire, les Craies phosphatées étant à plus grande profondeur mais aussi plus épaisses et les calcarénites du Montien présentent parfois des niveaux uranifères repérés en sondage;
- le Mont Panisel avec les argiles de l'Yprésien susceptibles de jouer le rôle d'écran à la migration du radon;
- Nimy situé sur le Landénien sableux comme l'Héribus mais avec un Crétacé que l'on peut considérer comme non uranifère;

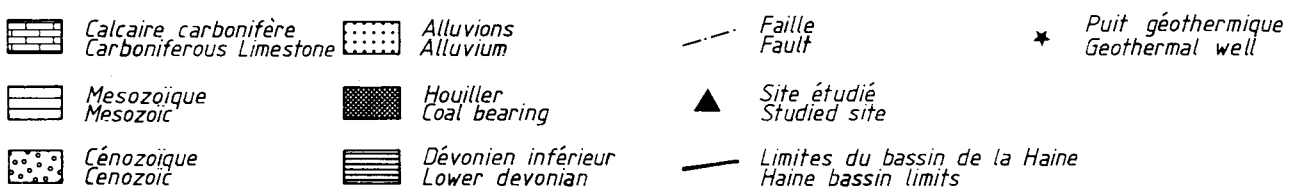
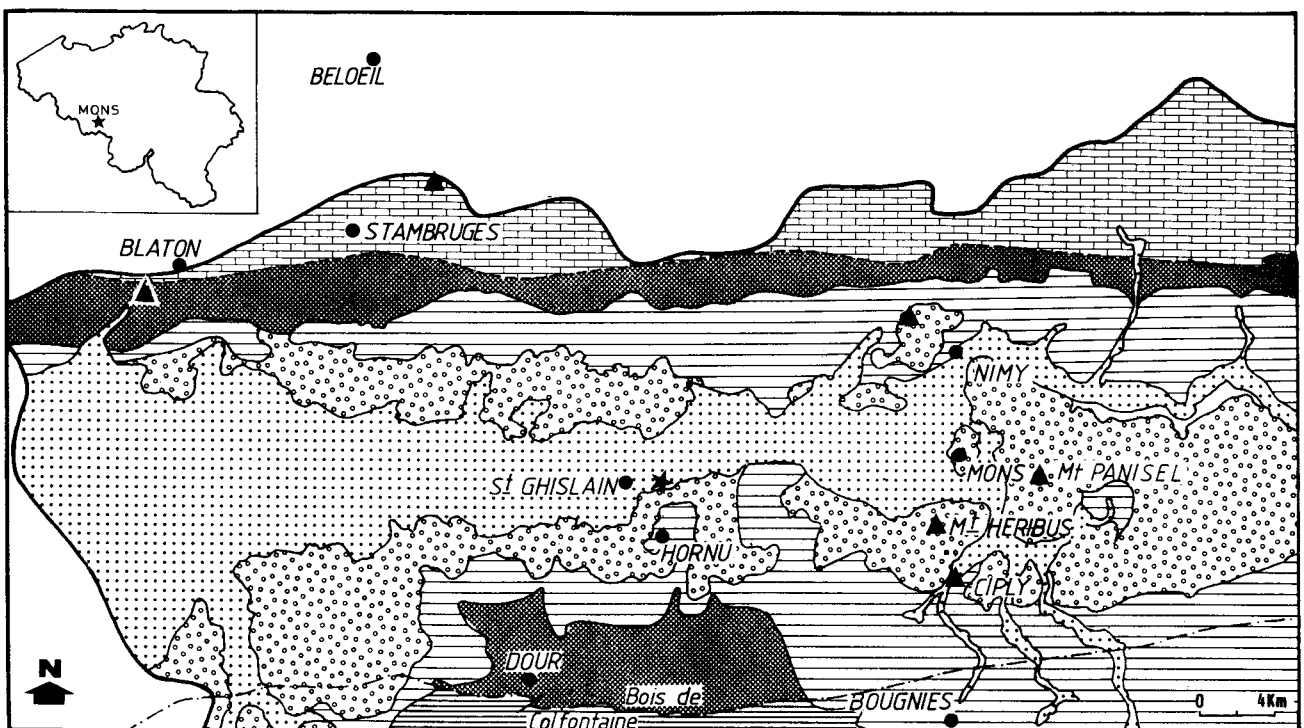


Fig. 1.- Distribution des stations radon dans le cadre géologique du Bassin de Mons.

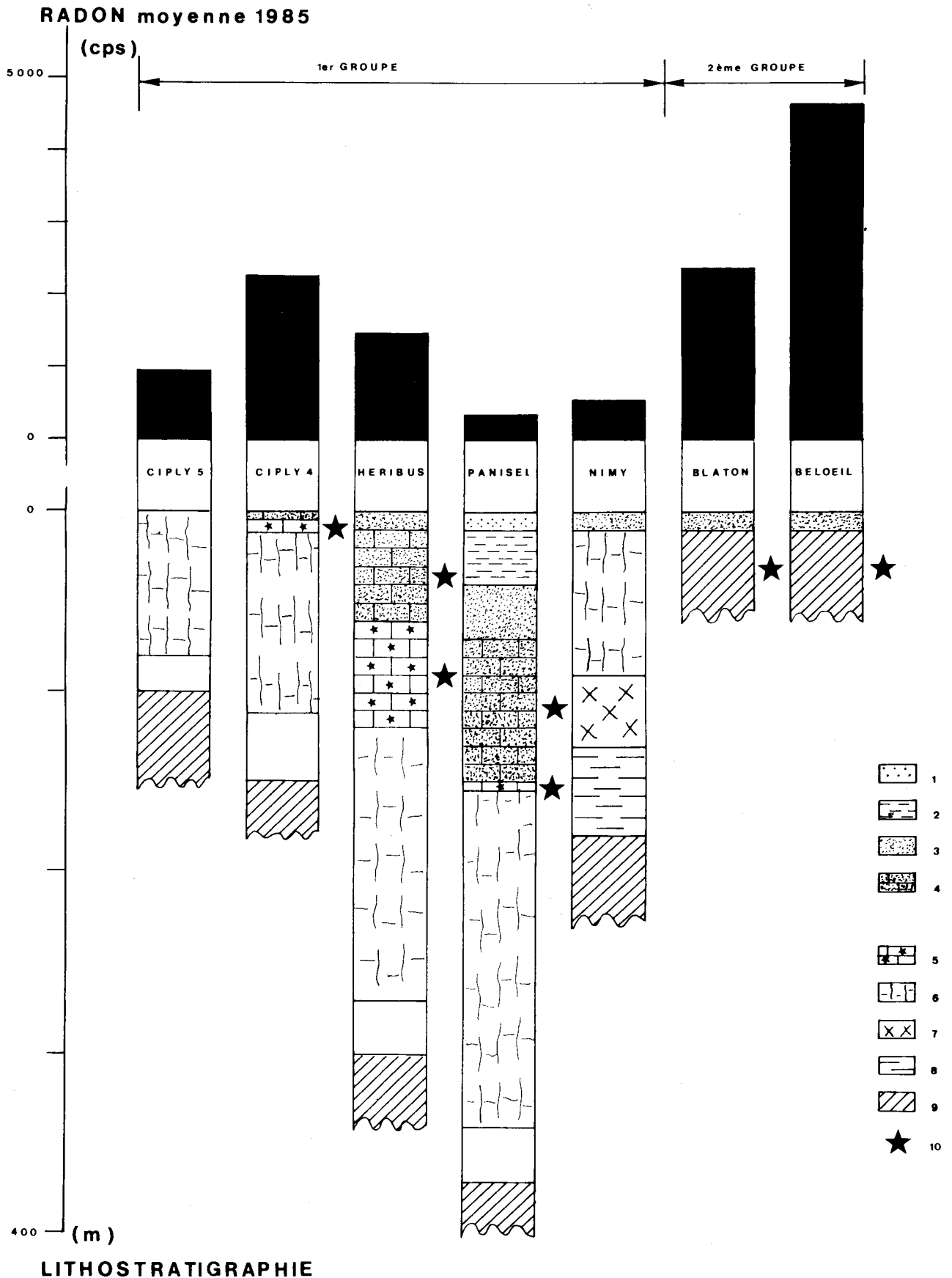


Fig. 2.- Log lithostratigraphique au niveau des stations de mesures et valeur moyenne du taux de concentration radon (en cps).

1. Sable Yprésien; 2. Argile Yprésienne; 3. Sable Landenien; 4. Calcarénite et calcaire du Dano-Montien; 5. Craie phosphatée radioactive; 6. Craies blanches non radioactives; 7. Craies vertes glauconifères (Turonien); 8. Wealdien; 9. Socle paléozoïque; 10. anomalies uranium.

- Blaton avec des niveaux radioactifs peu profonds dans le Viséen supérieur pratiquement à l'affleurement;
- Beloeil, site particulier caractérisé par les fontaines bouillonnantes considérées comme l'émergence de la nappe géothermique de Saint-Ghislain.

Enfin, on peut distinguer un groupe de stations sur couverture tertiaire et secondaire avec un socle à plusieurs centaines de mètres de profondeur et un groupe de stations, au Nord du Bassin de Mons, pratiquement sur le socle Paléozoïque (Blaton-Beloeil).

Les points de mesures sont soit alignés suivant des profils rectilignes (Blaton, Beloeil), soit répartis en triangle de plus ou moins 1 mètre de côté, chaque station comprenant donc au moins trois points de mesures.

Les détecteurs sont récupérés tous les quinze jours avec un décalage de huit jours entre les deux groupes de station définies à la figure 2. Après une première phase d'essais, certains points de mesures ont été abandonnés en raison des conditions hydrologiques (stations fréquemment noyées). Finalement, vingt-neuf points de mesures ont été retenus sur les sites décrits en figure 1.

3. L'exploitation de la base de données.

A) L'évolution des concentrations radon dans l'espace et dans le temps.

La figure 2 montre que:

- les concentrations moyennes en radon dans le sol varient très fortement d'un site à l'autre (d'un facteur 10 entre le site de Nimy et les sites de Beloeil).
- les concentrations les plus fortes (de l'ordre de 16×10^4 pci/l/h) sont obtenues sur le site de Beloeil (Fontaine Bouillonnante) et les plus faibles (de l'ordre de 16 à 20×10^3 pci/l/h) sur le site de Nimy et du Mont Panisel. Des valeurs moyennes (de l'ordre de 10×10^4 pci/l/h) sont obtenues sur le site de Cibly et de Blaton caractérisés par une source radioactive peu profonde.

En outre, sur une période de trois années (fig. 3), la reproductibilité des valeurs mesurées sur différents points de mesures d'un même site est en général bonne (cas de Blaton-Beloeil-Cibly-Nimy).

Pour un même site supposé géologiquement homogène les concentrations peuvent fortement varier d'un point à l'autre de mesure (de 2 à 3

ordre de grandeur) et cela même pour des points situés à plus ou moins 1 m. C'est le cas notamment de Cibly ou Beloeil. Ces différences sont probablement en relation avec un modèle de transport en milieu hétérogène caractérisé par une perméabilité de fracture. Le comportement est plus homogène pour des sites comme Nimy à perméabilité intergranulaire. Enfin, pour Blaton, le site est radiométriquement et hydrologiquement hétérogène (niveaux radioactifs localisés dans le Viséen, sites souvent noyés comme BI 3-6-9).

Toutefois, même pour un site considéré comme hétérogène, la reproductibilité du comportement des différents points de mesures au cours du temps, conduit à ne devoir considérer qu'un nombre limité de points d'observation.

B) Introduction des facteurs climatiques et du risque sismique.

Le problème a été abordé à l'aide d'une base de données constituées des concentrations en radon sur les différentes stations (mesures effectuées tous les 15 jours), des données climatologiques et de l'activité sismique régionale, ce qui nous fait pour trois ans (de 1984 à 1987) un tableau de 155 lignes et de 16 colonnes représentant les paramètres retenus. Pour dégager l'influence des facteurs climatiques, une ACP a été effectuée. Elle montre que les corrélations avec la climatologie varie suivant les stations, les résultats étant cependant reproductibles d'une année à l'autre. On constate (fig. 4):

- une nette influence de la température sur les stations du Sud du Bassin établies sur une couverture Méso-Cénozoïque (Nimy, Cibly, Panisel).
- une influence certaine de la pression sur le site de Blaton où les anomalies en uranium sont peu profondes et appartiennent au socle Paléozoïque;
- une influence climatique plus atténuée sur le site de Beloeil pour lequel la source radon est considérée comme profonde.

Mais le but ultime de ces traitements était de définir des règles pour la prévision d'un risque sismique. A ce niveau, la difficulté a d'abord été de définir le risque sismique.

Nous l'avons fixé un peu arbitrairement à une activité de magnitude locale 1,5 située entre les dates de récupération de détecteurs dans les deux groupes de stations du Nord et du Sud du Bassin de Mons (données fournies par l'équipe sismologique de l'Observatoire Royal de Belgique).

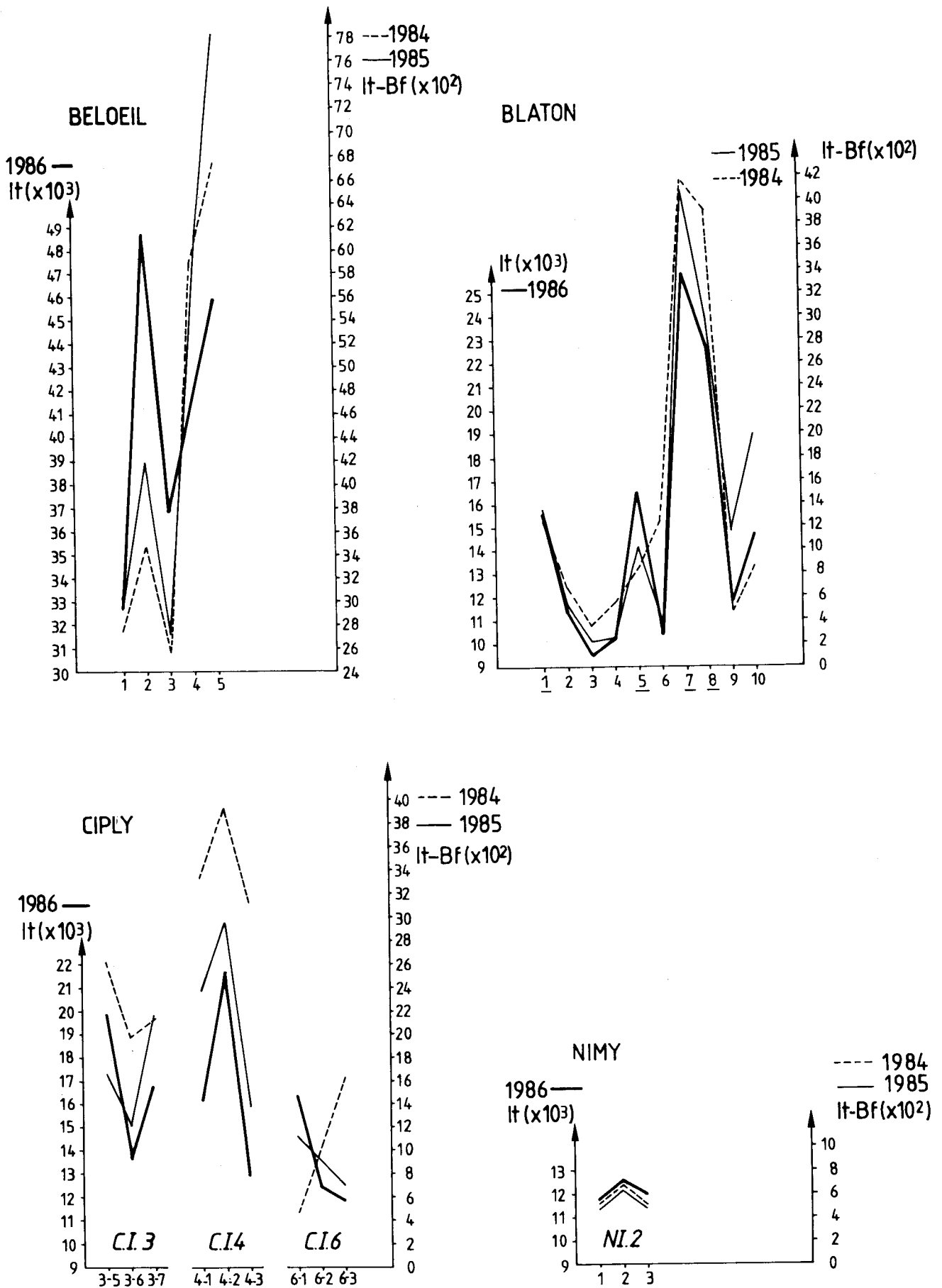


Fig. 3.- Concentrations moyennes annuelles en radon sur différents sites du Bassin de Mons.
 En abscisse : n° des stations
 En ordonnée : taux de comptage radon en valeur arbitraire
 It (total count.), Bf (bruit de fond).

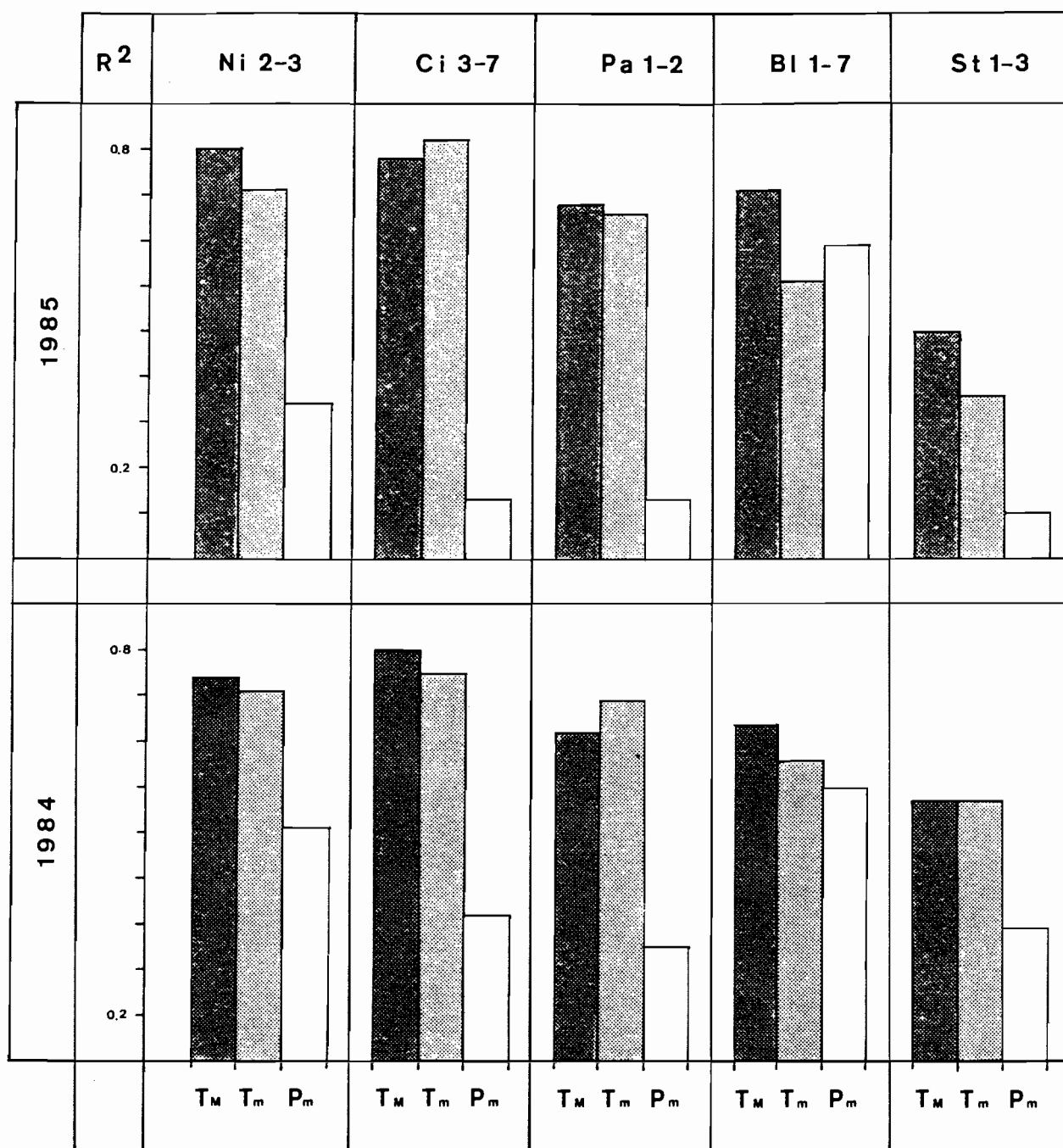


Fig. 4.- Facteurs de corrélation entre les concentrations radon et les données climatiques.
 T_M : température maxima P_m : pression minima T_m : température minima
 Ni 2-3 Nimy Ci3-7 Ciply Pa 1-2 Panisel B11-7 Blaton Sp 1-3 Beloeil-Stambruges

L'activité sismique étant ce qu'elle est, le nombre de valeurs correspondant à une période «sans risque» est évidemment déséquilibré par rapport au nombre de valeurs des mêmes paramètres correspondant à un risque sismique. Nous avons en fait sur trois ans 147 lignes ou individus en période de non risque et 8 lignes seulement ou individus pour des périodes à activité sismique de magnitude égale ou supérieure à 1,5 (et cela compris le séisme de Dour). Les méthodes statistiques classiques sont donc

inapplicables. Pour tenter de résoudre ce problème, nous avons dans une première approche testé la méthode des ensembles approximatifs d'introduction récente (Pawlak, 1982) et dont les conditions d'application à la prévision des risques sismiques sont actuellement étudiées en collaboration avec J. Teghem, Chef de Travaux dans le Service d'Analyse Mathématique (Faculté Polytechnique de Mons). Le traitement préliminaire d'un tableau constitué de 16 attributs (les concentrations radon moyennées sur 8 sites, 7

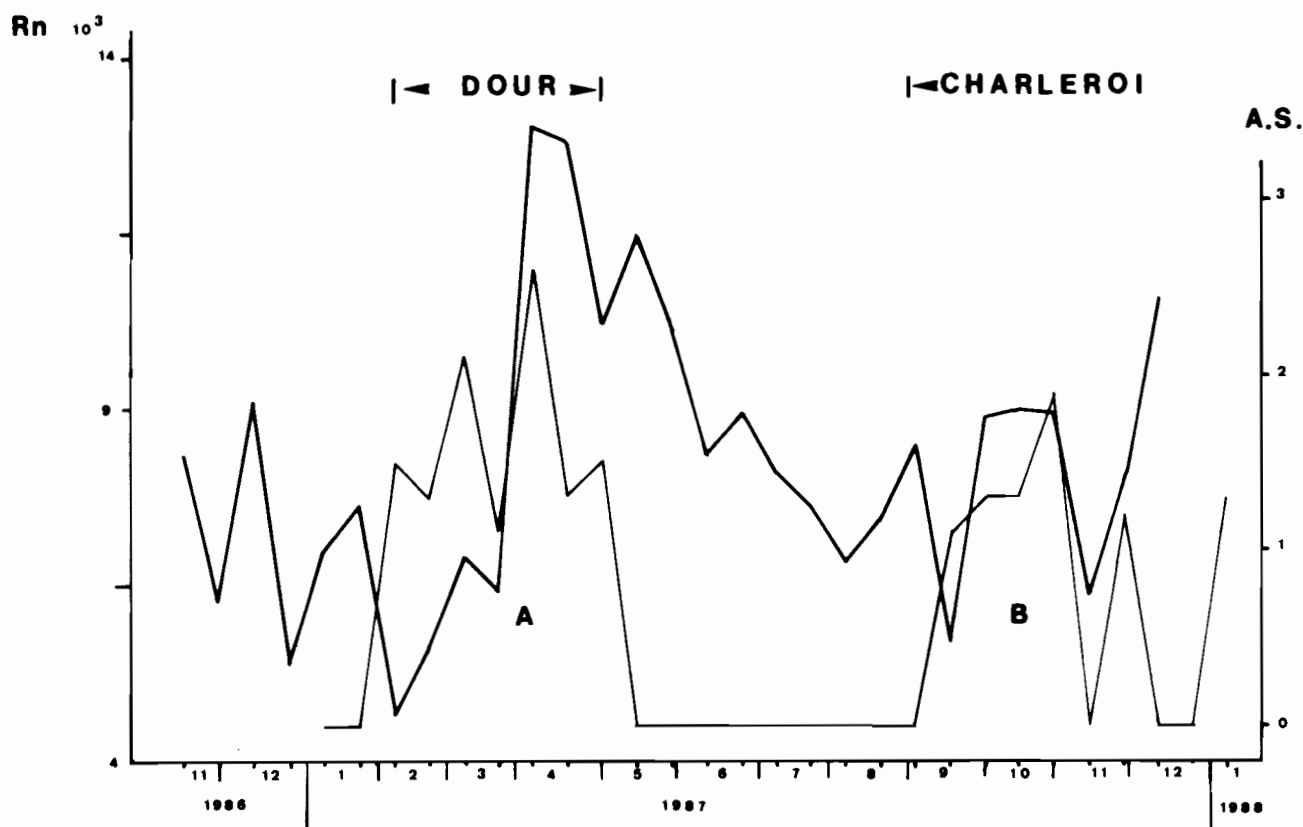


Fig. 5.- Evolution des concentrations radon à la station de Stambruges (Rn) en relation avec l'activité sismique (As)
A : séquence de Dour B : séquence de Charleroi

données climatologiques et le paramètre «risque sismique») et de 155 lignes (les valeurs précédentes sur trois ans) a conduit à proposer une table de décision déterministe (Fitvoye, 1988) d'où l'on peut tirer quelques considérations intéressantes:

- le rôle dans l'attribution d'un risque des stations de Beloeil et de Blaton situées sur le socle paléozoïque;
- une influence des conditions climatologiques en accord avec celle obtenue par l'application de l'ACP.

Un examen plus qualitatif des variations des concentrations en radon (sur le site de Beloeil) montre bien une série de pics qui apparaissent comme précurseurs ou contemporains des événements sismiques de Dour ou Charleroi (fig. 5) ce qui constitue un encouragement à poursuivre dans ce sens en appliquant des méthodes statistiques adaptées au problème posé.

4. Mise au point d'une station continue de mesure

L'existence d'une émission radon intense et de courte durée précédant de quelques heures à quelques jours un événement sismique a conduit diverses équipes de recherche à développer des

systèmes permanents de surveillance (Ta-Liang Ting et Liang-Fang Sun, 1986; Li, Z.M, Li, T.Q. et Yang C.D, 1980).

En vue de préciser l'influence des différents facteurs susceptibles de modifier la concentration de radon dans le sol, une station automatique et continue fut construite en 1986 dans le Bassin de Mons (fig. 8). Le site fut sélectionné en raison des deux critères suivants:

- se trouver dans un environnement donnant un flux radon suffisant en intensité et suffisamment homogène.
- être dans un endroit à l'abri d'acte de vandalisme et où la surveillance est aisée.

Après une étude préliminaire le site d'Hornu fut finalement sélectionné. Toutefois sa localisation dans la partie centrale du Bassin de Mons en fait une station plus particulièrement utile pour une étude à caractère méthodologique, l'implantation étant peu appropriée à une surveillance des risques sismiques. Un sondage de reconnaissance montre sous une couverture limoneuse peu épaisse (0,70 m) des sables vert jaunâtre du Landénien. Le sommet des craies marneuses a été atteint à la profondeur de cinq mètres. Ce résultat concorde bien avec la coupe du puit de la Corderie situé à quelques mètres et levée en 1919 par J. Delecourt:

Landénien inférieur - 4,5 m
 Craie de Trivière et Craie de St-Vaast - 47 m
 Turonien atteint à 51,5 m.
 Le plan de la station est repris en fig. 8. Comme pour les détecteurs passifs implantés sur les différents points de mesures du Bassin (voir paragraphe 2), le système de détection des gaz radioactifs est basé sur l'utilisation du charbon actif.

Les gaz radioactifs (radon et éventuellement thoron) se fixe sur les sites actifs du charbon; les rayonnements gamma émis par leurs descendants solides sont détectés et analysés par une chaîne comprenant un scintillateur et un spectromètre à fenêtre. Deux kilos de charbon actif ont été placés dans un réservoir. La chaîne de détection et d'analyse du rayonnement est une chaîne utilisée pour la prospection radiométrique autoportée et donc en principe bien adaptée à un fonctionnement en environnement naturel. Elle comprend: un détecteur à scintillation de 4" x 6" et un spectromètre à fenêtres Geometrics Modèle DGRS1002. Les fenêtres énergétiques ont été fixées aux valeurs suivantes:

K 40 (1,34 - 1,55 Mev). La voie K constitue une mesure de la radioactivité de l'environnement naturel.
 Bi214, descendant du radon 222 (1,67 - 1,93 Mev).
 Tl 208, descendant du radon 220 ou thoron (2,49 - 2,93 Mev).

En outre, le total count est mesuré avec un seuil énergétique fixé à 1 Mev.

Un système de stabilisation du spectre, agissant sur la haute tension fournie aux quatre tubes photomultiplicateur du détecteur, permet de maintenir automatiquement la position des fenêtres énergétiques. Pour ce faire, il utilise une source témoin placée dans le détecteur (source de Cs 137 avec un photopic à 0,66 mev). En outre, le spectromètre possède un dispositif qui corrige automatiquement les taux de comptage de la contribution des rayonnements secondaires liés aux voies à plus haute énergie. Les corrections sont fixées par le réglage de potentiomètres lors du calibrage de l'appareil sur les stations de la FPMs (Charlet *et al.*, 1982).

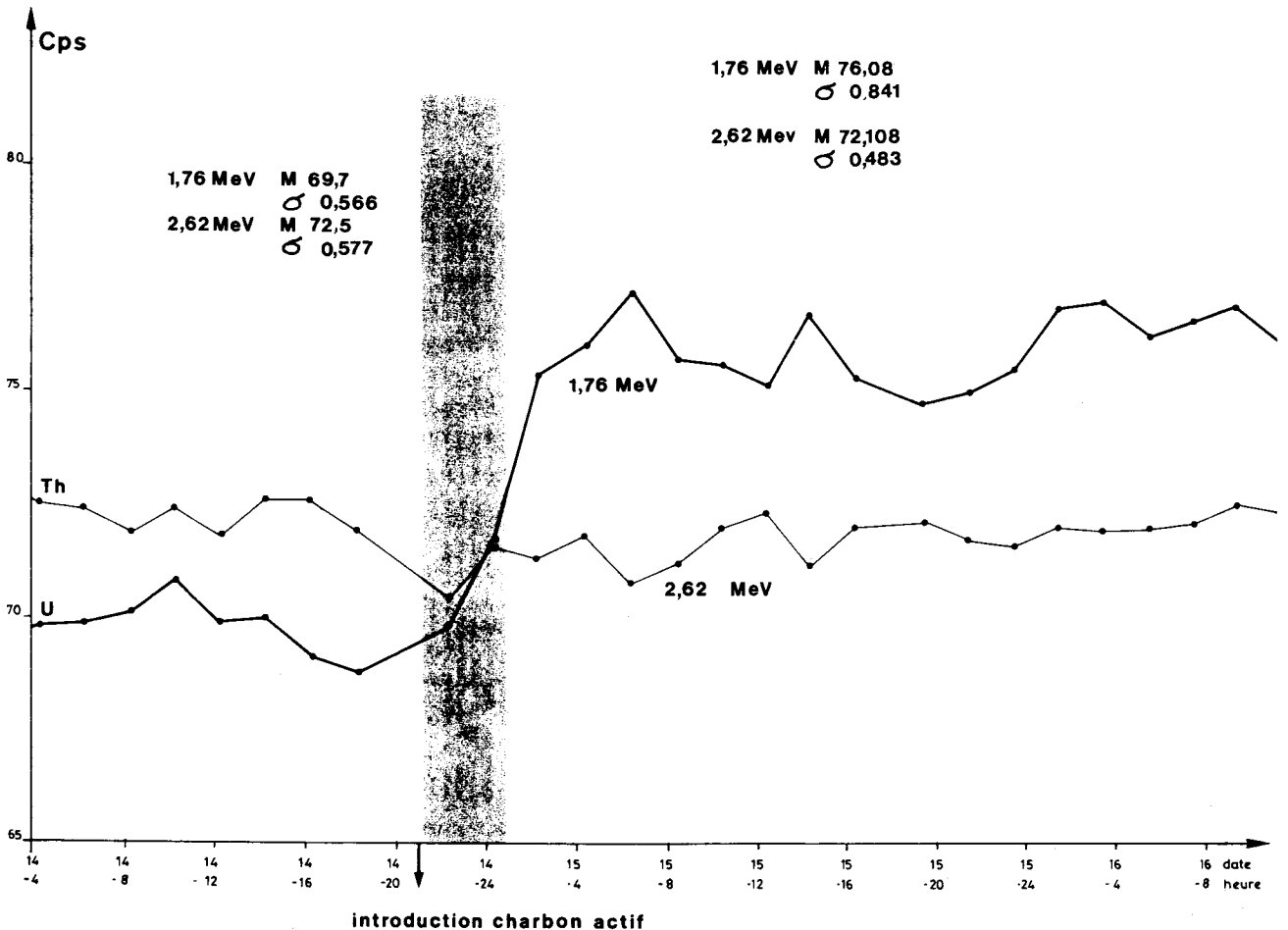


Fig. 6.- Evolution dans le temps des taux de comptage sur les fenêtres énergétiques de l'U (1,76 Mev) et du Th (2,62 Mev). On peut noter l'effet d'introduction du charbon actif sur la voie de l'uranium et la plus forte dispersion ($\sigma = 0,841$) traduisant l'effet des fluctuations radon.

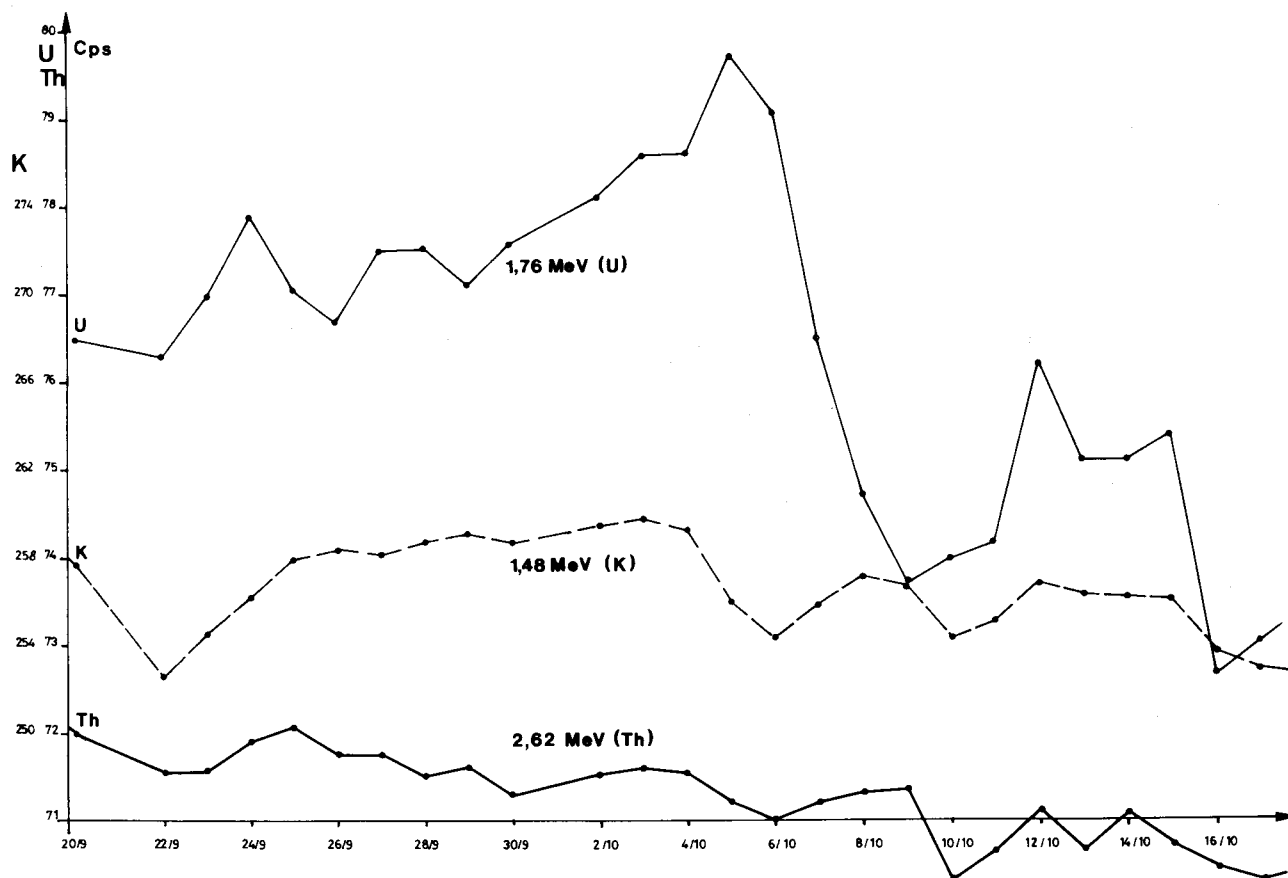


Fig. 7.- Evolution dans le temps des taux de comptage sur les fenêtres énergétiques du K40 (1,48 MeV), de l'U (1,76 MeV) et du Th (2,62 MeV) après introduction du charbon actif. On peut noter les variations sur la voie U liées aux fluctuations du radon. Les taux de comptage sur la voie K sont liés aux variations de la radioactivité de l'environnement.

Un convertisseur analogique digitale transforme les signaux issus du spectromètre et traite également les données de sondes externes (mesures de la température, ...). L'ensemble des signaux digitalisés est alors transféré vers un microordinateur.

Outre un stockage des données pour une série de traitements plus complets, les taux de comptages et certaines données météorologiques (actuellement la température dans la station et au sol) sont imprimées toutes les demi heures et les valeurs moyennes et dispersion sont calculées par période de 24 heures.

L'introduction du charbon actif dans la cuve a permis d'apprécier la capacité du système (voir fig. 6) à enregistrer un flux radon et de constater qu'un «pseudoéquilibre» était rapidement atteint. Les recommandations fournies par la littérature pour le temps d'implantation des détecteurs passifs, temps fixé à plus ou moins 15 jours en raison de la période du Rn 222 (3,8n jours) doivent donc être revues.

En fait, ces recommandations n'ont pas pris en compte le phénomène d'absorption - désorption lié au recul du noyau émetteur lors de l'émission

d'une particule alpha. On constate ainsi, expérimentalement qu'une durée d'implantation des détecteurs passifs de quelques jours est suffisante et que dès lors il y a lieu d'en tenir compte pour déterminer le temps d'intégration des données climatologiques (voir paragraphe 3B).

En outre, ce «pseudoéquilibre» lié au processus absorption-désorption du radon permet l'enregistrement de fluctuations sur les taux moyens d'émanation des gaz radioactifs (voir fig. 7), fluctuations qui seront à expliciter après un cycle climatologique complet.

5. Conclusions

Les résultats d'un premier traitement d'une campagne de mesures des concentrations radon dans le Bassin de Mons sont en accord avec les données les plus récentes de la littérature traitant de la prévision des risques sismiques :

- les stations qui paraissent les plus aptes à prévoir les risques sismiques sont celle situées sur le socle paléozoïque du Bord Nord du Bas-

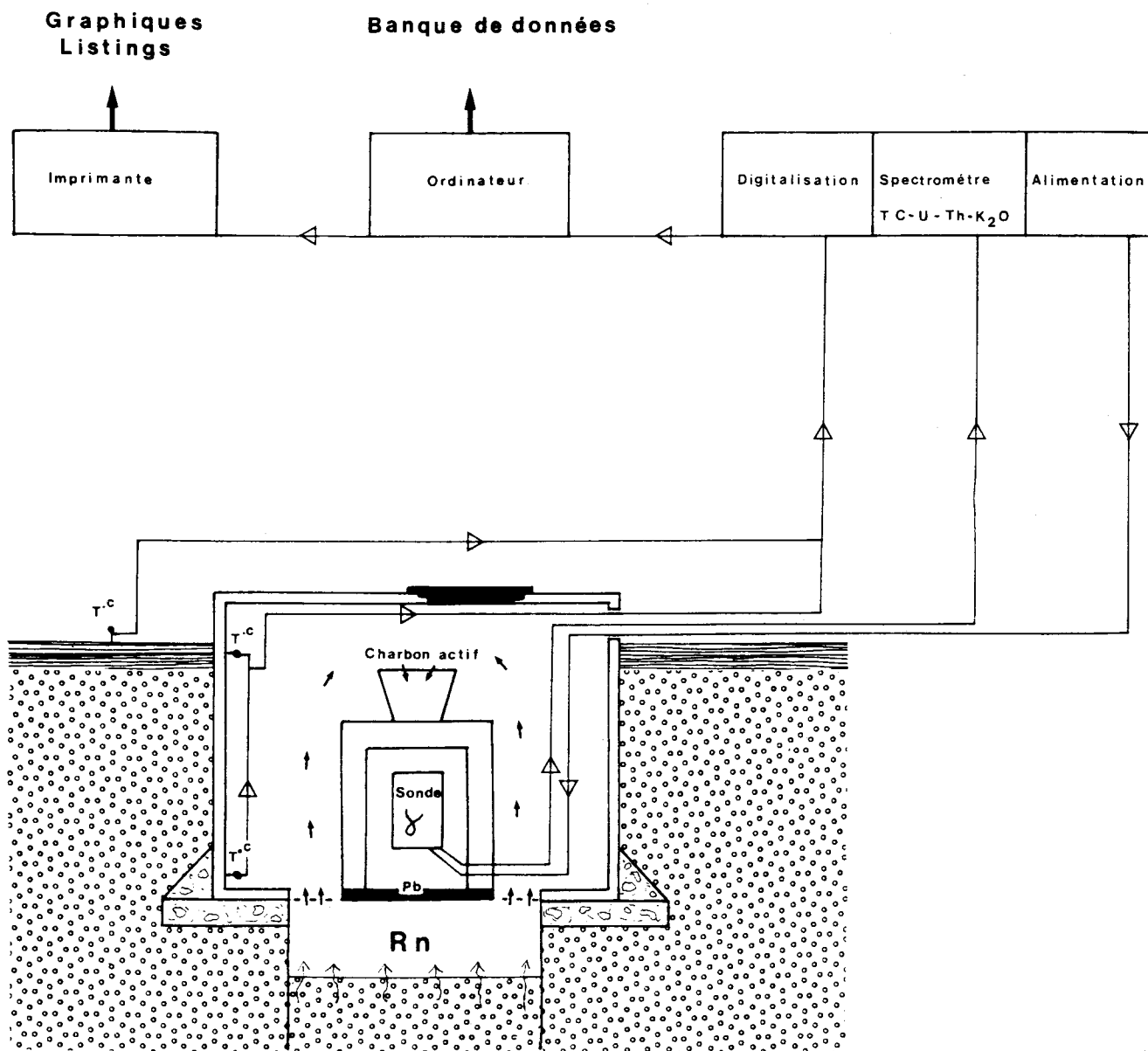


Fig. 8.- Schéma de fonctionnement de la station radon.

sin de Mons et plus particulièrement sur les zones d'émergence de la nappe géothermique profonde.

- l'évolution des concentrations sur une seule station ne suffit pas à constituer un critère décisionnel de risque sismique.

Du point de vue méthodologique les détecteurs au charbon actif, tout en enregistrant bien l'évolution des concentrations radon tant en mesures intégrées qu'en station continue présentent certains inconvénients. Nous avons pu montrer que la période d'intégration ne porte en fait que sur quelques jours maximum et donc l'utilisation en détecteur passif avec ses deux phases de

travail (implantation et récupération) peut poser certains problèmes pratiques. Il apparaît donc que les efforts devraient s'orienter sur la construction de stations continues et sur des mesures effectuées directement dans des puits ou des sources avec des détecteurs moins sensibles aux effets précédemment décrits. Nous avons à ce niveau développé une méthode rapide d'analyse dans l'eau qui fut testée sur plusieurs sites (Doremus *et al.*, 1987).

Enfin, si l'influence de certains paramètres climatiques ont été mis en évidence, ils apparaissent d'un second ordre et très variable suivant les stations en fonction des facteurs géologiques et de la nature des sources radon.

BIBLIOGRAPHIE

- ABDUVALIYEV, A.K., ANDREYEV, V.K., VOYTOV, G.I., SERGEYEV, N.K., 1985.- Time pattern of radon content in the subsoil in the seismically active zones of western Fergana before the earthquake of 18 October 1980 and the Nazarbek earthquake of 11 December 1980. *Dokl. Acad. Sci. USSR. Earth Sci. Sect. Engl-Transl.* 271, 1-3.
- ANTSILEVICH, M.C., 1971.- An attempt to forecast the moment of origin of recent tremors of the Tashkent earthquake through observations of the variation of radon. *Izv. Akad. Naukuzb SSR*: 188-200.
- BOUKO, Ph., CHARLET, J.M., QUINIF, Y., 1985.- Development of a program for radon measure in seismic active zone, the case of Mons Basin (Belgium), 1985 - In Nato-ASI series, Seismic activity in Western Europe: 157-174.
- CHARLET, J.M., DUPUIS, Ch., QUINIF, Y., BOUKO, Ph., RAMU, J.P., 1982.- An intercomparaison of several methods of detecting radon-222 in overburden gases. *Ann. Soc. géol. de Belg.*, 105: 211-221.
- CHARLET, J.M., DRUMEL, B., QUINIF, Y., YANS, D., 1982.- Conversion des résultats d'une prospection radiométrique autoportée en unités de concentrations des radioéléments. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 105: 195-203.
- CHI-YU KING, 1986.- Gas geochemistry applied to earthquake prediction: an overview. *J. of Geophysical Research*, 91 (B12): 12269-12281.
- DOREMUS, P., QUINIF, Y., CHARLET, J.M., 1987.- Mise au point d'un détecteur passif du radon 222 en milieu saturé. Premiers résultats. *Ann. Soc. géol. Nord*, 57: 211-219.
- FITVOYE, D., 1988.- Applications géologiques. In aide à la gestion d'une chaîne de production. Travail de Fin d'Etudes, FPMs.
- KING, C.Y., SLATER, L.E., 1978.- A comparison of soil-gas radon and crustal strain data. *Earthquake Notes*, 49(4), 44.
- LI, Z.M., LI, T.Q., YANG, G.D., 1980.- Type JSZ-2 intermittent continuous digital and automatic radon measuring instrument. *Acta Siesmol. Sin.*, 2: 348-445.
- LI, X.H., 1981.- Diffusion and contraction phenomenon of anomaly of radon contents in groundwater. *Di Zhen Zhan Xian*, (5): 41-43.
- MONNIN, M., SEIDEL, J.L., 1988.- Sur une hypothétique émission intense de radon avant un événement géophysique majeur: une analyse théorique. *C.R. Acad. Sc.*, 307, Série 2: 1363-1368.
- PAWLAK, Z., 1982.- Rough sets. *International Journal of Information and Computer Sciences*, 11(5): 314-356.
- QUINIF, Y., DOREMUS, P., BOUKO, Ph., CHARLET, J.M., 1984.- Une méthode d'analyse du Radon-222 dans les eaux naturelles. Application à la prospection de l'uranium (région de Oizy, Belgique). *C.R. Acad. Sc. Paris*, 299: 1187-1190.
- SHERY, S.D. & SIEGEL, D., 1986.- The role of channels in the transport of radon from the soil. *J. of Geophysical Research*, 91 (B.12): 12366-12374.
- SHIRATOI, K., 1927.- The variation of radon activity of hot spring. *Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ.*, Ser. 3, 16: 614-621.
- SUGISAKI, R., 1981.- Deep-seated gas emission induced by the earth tide: a basic observation for geochemical earthquake prediction. *Science*, 212: 1264-1266.
- THOMAS, DONALD, M., CUFF, KEVIN, E., 1986. The association between ground gas radon variations and geologic activity in Hawaii. *J. of Geophysical Research*, 91, (B12): 12186-12198.
- TA-LIANG TENG & LIANG-FANG SUN, 1986.- Research on groundwater radon as a fluid phase precursor to earthquakes. *J. of Geophy. Research*, 91 (812): 12305-12313.
- ZHENGMENG LI., 1986.- Imminent anomalies of radon content before large earthquakes in China. *J. Phys. Earth*, 34, suppl. S91-S102.