

La radioactivité y naturelle et ses modifications par l'activité minière uranifére en bretagne méridionale et vendée, France

Lucien Barbaroux

▶ **To cite this version:**

Lucien Barbaroux. La radioactivité y naturelle et ses modifications par l'activité minière uranifére en bretagne méridionale et vendée, France. Environmental Pollution Series B Chemical and Physical, 1985, 9 (9), pp.41 - 69. 10.1016/0143-148X(85)90039-4 . insu-01493898

HAL Id: insu-01493898
https://insu.hal.science/insu-01493898

Submitted on 27 Mar 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Environmental Pollution (*Series B*) **9** (1985) 41–69

La Radioactivité γ Naturelle et ses Modifications par L'Activité Minière Uranifère en Bretagne Méridionale et Vendée, France

Lucien Barbaroux*

Laboratoire de Stratigraphie et de Paléoécologie,
Université de Provence (Aix-Marseille 1), Centre St Charles,
Place Victor-Hugo, F-13331 Marseille-Cedex 03, France

RESUME

L'activité extractive entraîne des modifications régionales de la radioactivité γ, directes et indirectes pouvant atteindre plusieurs dizaines de fois la valeur de la radioactivité naturelle. Celle-ci pour sa part peut varier de 1 à 5 suivant la nature des roches du substratum. Parmi divers problèmes posés par l'activité extractive: les plus graves sont la dissemination régionale de matériaux actifs réemployés en voirie et remblais, l'absence fréquente de réaménagement de sites anciennement exploités. La non prise en compte de ces problèmes par la législation et la déontologie constitue une grave lacune révélée par cette étude pour la protection de la santé publique.

ABSTRACT

Uranium mining has increased the gamma radioactivity by up to 80 times in some areas. The activity also varies, by a factor of 5, with rock composition. The most important problems arise from the dispersion of unshielded radioactive material and the lack of rehabilitation of old mining areas. The continued existence of these problems reveals the inadequacy of existing laws, the past absence of social responsibility and a serious gap in the measures for the protection of public health.

* *Ancienne addresse*: Département des Sciences de la Terre, Laboratoire de Géologie Appliqueé, Université de Nantes, France.

Environ. Pollut. Ser. B. 0143-148X/85/$03·30 © Elsevier Applied Science Publishers Ltd, England, 1985. Printed in Great Britain

INTRODUCTION

Position du probleme

Le développement de l'activité extractive des minerais d'uranium a pris, en vingt ans, une énorme importance à la suite des choix électronucléaire et militaro-nucléaire.

La production totale des mines francaises atteignait 2200 tonnes d'uranium métal en 1978. La division de Vendée, créée en 1953, a fourni 500 tonnes d'uranium métal pour l'année 1977. En France, dans le seule année 1978 plus d'un million de tonnes de minerais a été extrait et traité dont le quart environ dans la division de Vendée. Dans cette dernière région c'est ainsi près de 250 000 tonnes de déchets minéraux, après extraction de l'uranium métal qui ont été mis à jour; sans compter les 'stériles' de volume important de radioactivité faible.

Devant l'ampleur de ce phénomène, susceptible de s'accroître au cours des prochaines décennies, il apparaît indispensable d'étudier de plus près les répercussions éventuelles de cette activité extractive sur l'environnement régional.

Dans ce but, l'étude entreprise associe un levé géologique classique a une prospection γ, méthodiques, raisonnés, coordonnés.

Elle a donc été faite en discriminant: (a) milieu naturel, non minéralisé, non perturbé; (b) milieu naturel, minéralisé, non perturbé; (c) milieu naturel, minéralisé, exploité actuellement et ses installations annexes; (d) milieu naturel, minéralisé, anciennement exploité (et/ou non) réaménagé et (e) milieu urbanisé.

Les comparaisons entre ces différents types d'environnnements nous permettront d'établir un premier bilan de l'impact des activités extractives uranifères sur la radioactivité locale. Il faudrait l'affiner. Nous sommes bien conscients des limites de cette étude, qui faute de moyens ne prend en compte ni les rejets aquatiques et atmosphériques, ni les autres composantes de la radioactivité (α, β). Un plan d'étude plus global, avec des investigations pluridisciplinaires poussées serait pour cela nécessaire. Notre travail, volontairement limité, doit donc être considéré comme une indication minimale sur les perturbations induites par l'activité extractive.

Méthodologie

La méthodologie employée s'inspire dans ses grandes lignes des

protocoles adoptés par Stranden (1977) en Norvège, MacAulay & Colgan (1980) en Irlande, et Swedjemark (1979) en Suède. Nos mesures ont été faites, sur le terrain, de 1978 à 1980.

Appareillage

Nous avons utilisé un appareil MAB 601 intercalibré avec un Scintillomètre SPP3 (50 keV/100 keV), la corrélation entre les deux appareils étant significative aux coefficients près de:

$$r = 0{\cdot}978 \text{ (à 50 keV)}$$
$$r = 0{\cdot}995 \text{ (à 100 keV)}$$

Le MAB 601 était relié, lors des parcours routiers, à un enregistreur analogique digital muni d'une imprimante thermique à cadence d'écriture variable. Les valeurs sont exprimées en μrad h^{-1} à une précision de 5% près.

Protocole

L'amortissement de radioactivité γ est lié à la nature des sols, à leur épaisseur, à leur degré d'hydration. Cet effet d'écran naturel est implicitement inclus dans nos mesures. Il existe par contre des effets artificiels qu'il convient de corriger (Stranden, 1977).

Un quadrillage préliminaire sur parcours routier (routes et chemins) a été fait en camionnette, à la vitesse moyenne de 40 ± 5 km h^{-1}, la constante d'atténuation de l'enregistreur était de 6 s pour le véhicule en mouvement et de 68 s lors des cheminements à pied et des arrêts afin de compenser l'inertie du système. Nos études montrent que la sonde à l'intérieur du véhicule minore les mesures de 30 à 100% par rapport à une sonde extérieure. Le quadrillage en véhicule a donc servi de reconnaissance rapide, à partir de laquelle arrêts et mesures à pied ont été déterminés en fonction des anomalies constatées. Sur certains secteurs-clefs (filons repérés, anciennes exploitations, exploitations actives, centres de traitement) un relevé systématique a été etabli à pied. Le positionnement usuel de la sonde était à 1 m du sol. En cas de valeurs élevées (> 25 μrad h^{-1}) la valeur maximale a été recherchée au ras du sol. Les appareils ont été testés et recalibrés périodiquement sur une source 226 Ra (1 m Ci) au cours des investigations. La contribution du rayonnement cosmique, évaluée à 4 μrad h^{-1} en moyenne, a été déduite des mesures.

Localisation des investigations, répartitions et cadre géologique général des mesures (Fig. 1)

691 mesures ont été faites dans le Morbihan, en sites exploités et en milieu naturel, 618 en Loire-Atlantique. Parmi ces dernières 40 mesures ont été effectuées dans les agglomérations, 227 mesures en presqu'île Guérandaise sur des lieux d'extraction et en site naturel (Piriac, la Turballe), 351 mesures au sud de la Loire (Gétigné, St Crespin/Moine) sur lieux d'extraction, zone de traitement, milieu naturel.

Les gisements étudiés relèvent tous à des variantes de détail près, du 'Veinlike type' de Dahlkamp (1980), décrit comme lié à un endocontact granitique, minéralisé par des processus essentiellement exogènes. Les concentrations seraient d'origine secondaire, épigénétiques et polygénétiques (avec contrôles tectonique et microgéochimique). Il y a donc une homogenéïté générale des gisements à laquelle correspond d'ailleurs un cadre géologique très comparable. En effet, très schématiquement la Bretagne méridionale est un massif ancien pénéplané à ossature



Fig. 1. Carte géologique sommaire de la Bretagne—Secteurs étudiés encadrés.

proterozoïque–paléozoïque, avec de nombreux massifs, ou alignements, granitiques qui jalonnent et injectent les linéaments tectoniques majeurs de cet ensemble. La plupart sont réputés hercyniens. Ce sont dans ces granites ou à leur contact, que se présentent les filons uranifères de la division Bretagne-Vendée. Les trois secteurs étudiés présentent cependant entre eux quelques différences:

(1) *Dans le Morbihan, région de Pontivy*, on observe un contraste très tranché, rapide, entre le massif granitique, peu tectonisé, minéralisé et le contexte, sédimentaire ou épimétamorphique, exempt de minéralisation.

(2) *Dans la presqu'île Guérandaise* la minéralisation est localisée mais fort riche, et se situe au contact très fracturé, entre granite et contexte métamorphique encaissant.

(3) *Dans la région Sud Loire*, le granite syntectonique de Clisson-Mortagne est plus homogène, minéralisé de façon plus diffuse et plus extensive, suivant les directions de lamination Sud Armoricaines.

On retrouve ces différences dans l'environnement actuel: la région de Pontivy, la plus anciennement prospectée et exploitée présente davantage d'installations minières abandonnées.

La région de Piriac, d'exploitation récente, avec un caractère très ponctuel des exploitations.

La région de Clisson-Mortagne, la plus riche, sur laquelle est donc centralisé le traitement des minerais actuellement.

LE RAYONNEMENT γ ET LA LITHOLOGIE

Données de référence

Le Tableau 1 rappelle les valeurs obtenues par Dudley (1959); il répertorie le rayonnement γ naturel moyen de diverses catégories de roches.

Plus que la valeur, on observera le classement et l'ordre de grandeur du rayonnement des différents ensembles lithologiques.

Le Tableau 2 rassemble les données de mesures de divers auteurs, recueillies dans divers pays de l'hémisphère nord, ventilées suivant la nature des roches.

On peut classer par ordre croissant de rayonnement les alluvions, les roches calcaires, les roches sédimentaires silicopélitiques en général, basaltes, granites.

TABLEAU 1

Rayonnement γ Naturel Moyen pour Diverses Catégories de Roches
(selon Dudley, 1959)

Roches	γ ($\mu rad\,h^{-1}$)	*Facteur comparatif de décroissance*
Endogènes	7·5	1
Schistes et argiles	6	1·25
Grès et sables	3	2·5
Calcaires	1·3	5·76

TABLEAU 2

Mesures de Rayonnement γ Naturel pour Divers Pays de l'Hemisphère Nord en Fonction de la Nature Lithologique du Sous Sol

Localisation	*Roches*	γ ($\mu rad\,h^{-1}$)	*Références*	*Observations*
New Haven, USA	Sédimentaires	8·3	Solon *et al.* (1960)	Minima (roches sédimentaires) mesuré
Colorado Springs, USA	Granites	25	Solon *et al.* (1960)	Maxima (granite) mesuré
Groenland	Gneiss	5·8	Nielsen & Bøtter-Jensen (1973); Bøtter-Jensen *et al.* (1978, 1979)	
	Granite	28·4		
Trøndelag Nórvège	Alluvions	2	Stranden (1977)	Valeurs extrêmes sur 234 mesures
Søgne	Granites	113	Stranden (1977)	Valeurs extrêmes sur 234 mesures
Suède	Alluvions	2	Swedjemark (1979)	Valeur moyenne
	Granites	10–60	Swedjemark (1979)	Valeurs extrêmes
Irlande	Calcaires	3·9	MacAulay & Colgan (1980)	Moyennes sur 264 mesures
	Basaltes	22·2		
Hollande	Alluvions	4·8	Strackee & Van Dongen (1979)	Moyennes sur 20 mes.
		2·2–9·7		Valeurs extrêmes
RDA	—	9	Ohlsen (1971)	Moyenne générale ensemble du territoire
France (Rég. Paris)	Sédimentaires	8·3	Guegueniat *et al.* (1977)	Moyenne sur 283 mesures par dosimètres
Autriche	Granite	12·1	Tschirf (1979)	Moyennes sur 600 mesures env.
	Grès	5·3	Tschirf (1979)	
	Calcaires	2·2	Tschirf (1979)	

TABLEAU 3a

Mesures de Radioactivité γ Naturelle en Bretagne Méridionale (Présent Travail) en Fonction de la Lithologie du Substrat dans les Secteurs non Minéralisés en Uranium

Roches		*Localisation*	*Caractéristiques des mesures*			
Dénomination générale	*Description sommaire*	*Régions*	*Nombre mesures*	$\bar{\gamma}$ ($\mu rad\,h^{-1}$)	$\bar{\bar{\gamma}}$ ($\mu rad\,h^{-1}$)	*Facteur de décroissance*
Granitiques	Rouges et roses porphyroïdes	Trebeurden et Guirrec	13	17		
	Granites mylonitisés à deux micas	Quintin	448	17		
		Lanvaux	70	16	15·9	1
		Louvigné du Désert	6	13·7		
		Rostrenen	133	13		
		Quiberon	37	13		
Métamorphiques	Gneiss	Vannes et Lanvaux	29	12·6	12·3	1·29
	Micaschistes	Pontivy	6	11		
Epimétamorphiques et sédimentaires	Schistes (briovérien) sériciteux	Pontivy	10	9	9·4	1·7
	Schistes (silurodévonien)	Rostrenen	119	9·5		
	Grès (paléozoïque) quartzites	La Chapelle Lanvaux	10	5	5	3·1

TABLEAU 3b

Données de Mesures du Rayonnement γ Naturel dans Divers Secteurs Minéralisés en Uranium, de l'Hemisphère Nord, en Fonction de la Lithologie

Gisement	*Roches*	*Subtypes (Dahlkamp, 1980)*	*Localisation*	γ ($\mu rad\,h^{-1}$)	*Observations*
Sédimentaire	Argilite (Permien)	Sandstone type tectolithologic subtype	Mas d'Alary (F)	> 1 000	Léonard (1979) exploitation en cours forte minéralisation
	Argilite (Permien)	Sandstone type tectolithologic subtype	Riviéral (F)	270 à 1 470	Léonard (1979) exploitation en cours forte minéralisation
	Schistes alunifères (Cambro-Ordovicien)	Sandstone type Peneconcordant subtype	Västergötland (S)	190	Swedjemark (1979) exploitation en cours minéralisation modérée
Filonien et dérivé	Granite et encaissant	Vein-like type Granite endocontact subtype C	Suède	400	Swedjemark (1979) minéralisation moyenne décapage de terrain pour construction d'immeuble
	Granites	Vein-like type Unconformity Seamlike subtypes (A/B)	Kwanefield I (Groenland)	1 080	Bøtter-Jensen *et al.* (1978, 1979) exploitations en cours minéralisations riches (KI) et modérées (KII).
			Kwanefield II (Groenland)	254	

F = France; S = Suède.

Mesures en Bretagne

Au cours de notre étude nous avons réalisé une série de mesures en Bretagne sur sites naturels non minéralisés. Nous en donnons (Tableau 3a) les résultats. Le classement est tout à fait comparable à celui obtenu dans le paragraphe précédent. On notera toutefois les valeurs légérement minorées des granites. Ceci est normal, les granites inventoriés (Tableau 3a) ont été choisis exempts de minéralisations. Les valeurs présentées (Tableau 2) dans le paragraphe précédent sont des valeurs moyennes sur granites tout venant (minéralisés et non minéralisés).

MODIFICATION DE LA RADIOACTIVITE γ NATURELLE DANS LES SECTEURS MINERALISES

Exploitations, en cours, de référence

Nous allons examiner le niveau de radioactivité γ naturelle dans les secteurs minéralisés (minéralisation reconnues, indices, zones exploitées).

Les dépôts uranifères peuvent être rapportés à deux principaux types de gisements:

(a) *Type filonien ou dérivé*: dans les granites et encaissants métamorphiques, présentant un caractère ponctuel ou de faible extension, à distribution spatiale plus ou moins aléatoire et complexe. C'est le cas de la Bretagne méridionale.

(b) *Type sédimentaire*: dans les argilites, phosphates, de caractère stratiforme, plus étendus, dont la distribution spatiale plus aisément délimitée est liée à une couche. Nous prendrons en considération dans le tableau de référence (Tableau 3b) des exemples types des deux catégories.

Une rapide confrontation des résultats des Tableaux 1, 2, et 3 a et b suffit à montrer que les minéralisations exploitées, ou découvertes par décapage, entrainent une augmentation locale du niveau de radioactivité γ pouvant atteindre entre 10 et 100 fois le niveau de départ de rayonnement naturel des mêmes types lithologiques non minéralisés et/ou non décapés, car ceci ne tient pas compte, bien évidemment, de la protection occasionnée par l'épaisseur du sol avant exploitation qui a, ici, disparu.

Si cette augmentation est importante on pourrait arguer qu'elle reste circonscrite au périmètre exploité et, donc limitée. A ce stade, deux

questions peuvent se poser pour vérifier cet effet supposé limité:

(a) Quelles sont les répercussions réelles des exploitations en cours sur l'environnement régional et y-a-t-il ou non dispersion des effets de radioactivité par dispersion des matériaux?

(b) Les sites anciens sont-ils correctement réhabilités?

C'est ce que nous avons examiné dans les trois secteurs de Bretagne méridionale étudiés, en tenant compte des particularités géologiques et environnementales locales.

Pen Ar Ran en Piriac (Loire atl.) un exemple de secteur mineralisé à gîtes localisés et riches—en pleine activité

Distribution générale des mesures (*Fig. 2a*)

Les 227 mesures se distribuent entre divers types de sites; la valeur minimale (4 μrad h^{-1}) correspond a des sables littoraux, la valeur maximale (470 μrad h^{-1}) étant relevée aux abords de la mine. Nous n'avons pas pénétré sur le périmètre d'exploitation, interdit au public. Celui-ci représente une surface de quelques milliers de m^2, en retrait de 5 à 600 m par rapport aux dunes littorales. La carte (Fig. 2a) montre que l'ambiance régionale naturelle, en dehors des formations alluvionnaires et sables littoraux (4 à 6 μrad h^{-1}), varie de 10 à 17 μrad h^{-1} dans le granite et les roches métamorphiques non minéralisées, en milieu non perturbé. Ceci peut donc être considéré comme le bruit de fond naturel dominant de la région.

La zone d'extraction et ses abords

On constate que les abords de la zone d'extraction présentent des valeurs (35 à 470 μrad h^{-1}) nettement plus élevées (de 2 à 20 fois plus), que celles du contexte local naturel. Un relevé de détail (Fig. 2b) permet de visualiser la répartition des perturbations. Celles-ci sont sensibles (75 à 130 μrad h^{-1}) le long de la route D99 longeant la mine et localement entre celle-ci et le rivage (34 à 55 μrad h^{-1}). A partir des bassins de lavage un effluent d'eaux turbides débouche sur le littoral au niveau des plus basses mers. Alors que le contexte sableu littoral normal donne des valeurs allant de 4 à 6 μrad h^{-1}, au niveau du rejet les valeurs vont de 17 à 22 μrad h^{-1} sur une centaine de m^2.

Coispéan et Kerudal anomalies sur reconnaissance et indices minéralisés

Deux autres zones d'anomalies ont été relevées. La première, à Kerudal

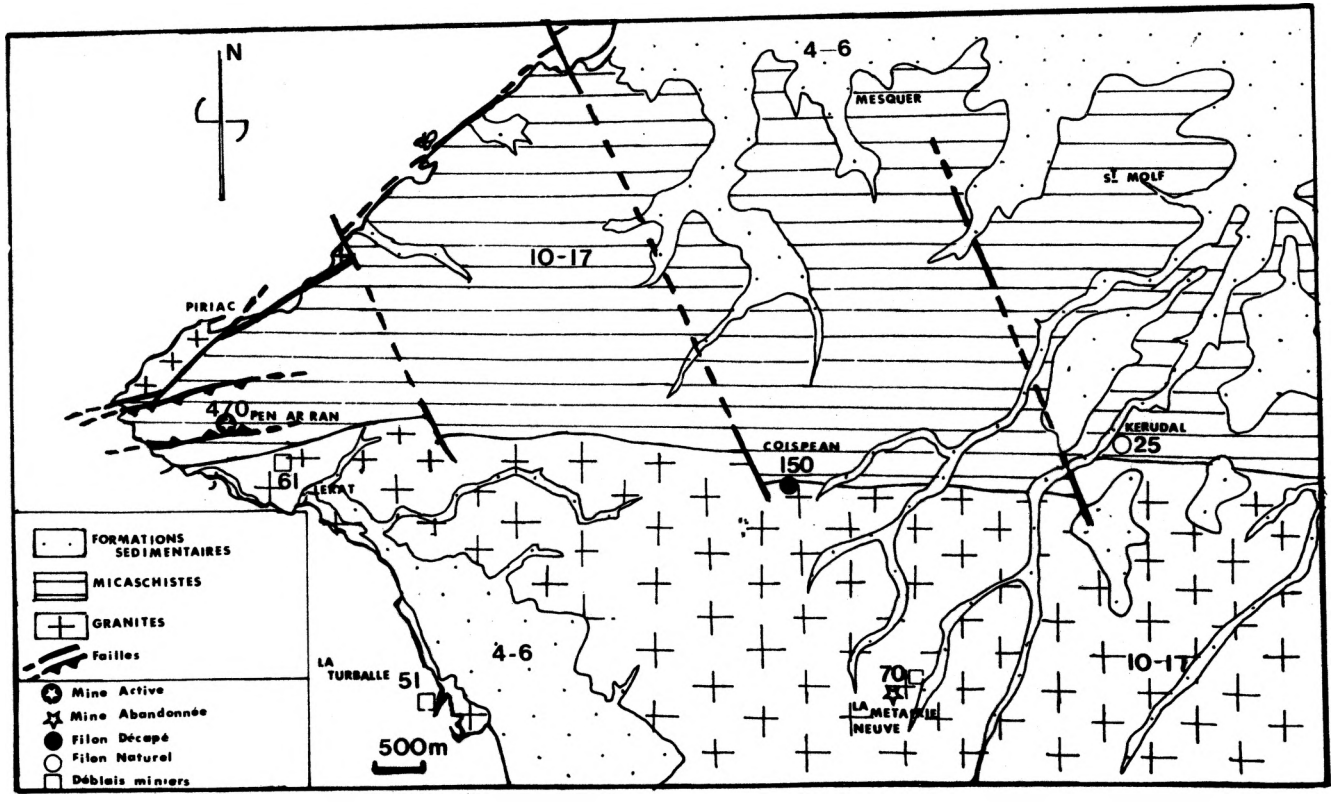


Fig. 2. (a) Principaux sites étudiés en presqu'ile guérandaise avec les valeurs maximales des anomalies de radioactivité mesurées et quelques valeurs de référence pour environnement non perturbé. (γ en μrad h^{-1}).

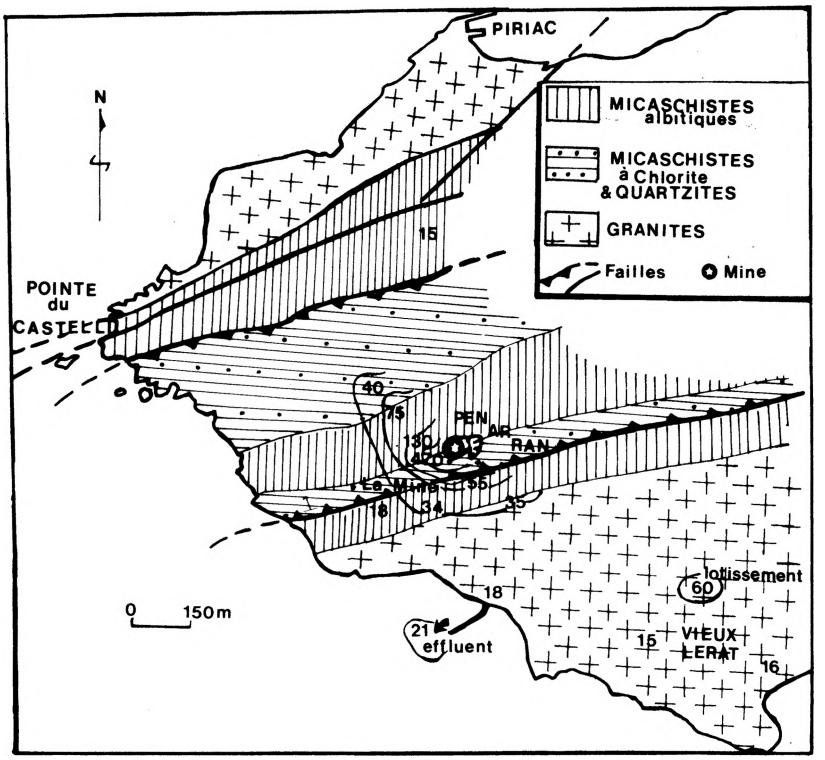


Fig. 2—*continuée.* (b) Agrandissement et détails de la figure précédente. Mine de Pen Ar Ran.

près Kerguenec sur un indice minéralisé, couvert par un sol naturel, la valeur moyenne est de 25 μrad h^{-1}. A Coispean (D252, 5 km de Guerande), l'indice a fait l'objet d'une reconnaissance, le sol a été décapé; on y observe des trous et tranchées de prospection. Le maximum, sur quelques dm^2 est de 150 μrad h^{-1}, l'anomalie s'atténue assez rapidement passant à 70 puis 30 μrad h^{-1} en quelques dizaines de mètres. Les valeurs relevées dans le hameau proche, ou affleure le granite stérile encaissant, sont normales (13·5 à 20 μrad h^{-1}).

Metairie Neuve, ancienne exploitation réaménagée

Le site est a 3 km NW de Guérande. C'est un plan d'eau, grillagé, signalé par panneau. Le bassin lui même présente des valeurs relativement faibles et assez homogènes (16 à 22 μrad h^{-1}), un seul secteur se distingue (36 μrad h^{-1}) sur une faible extension. Les chemins entourant le site, et

TABLEAU 4

Radioactivité γ Naturelle et Anomalies Induites dans l'Environnement par Extraction d'Uranium en Bretagne Méridionale (Secteur de Pen Ar Ran. Presqu'ile Guérandaise)

	Ambiance naturelle				
	A, Zones non-mineralisées	*B_1, Zones minéralisées recouvertes par un sol*	*B_2, Zone minéralisée décapée*	*D, Zone exploitée*	*C, Divers*
γ μ rad h^{-1}	Sédiments 4–6	25 ± 5	30 à 150	Stériles et vrac = (abords de mine) 35 à 470	Remblai portuaire 16 à 50
	Granites et R. Métomorphiques 10–17			Rejet littoral = 8–20	Site réaménagé = 16 à 36 Chemins empierrés de 'steriles' 50 à 70

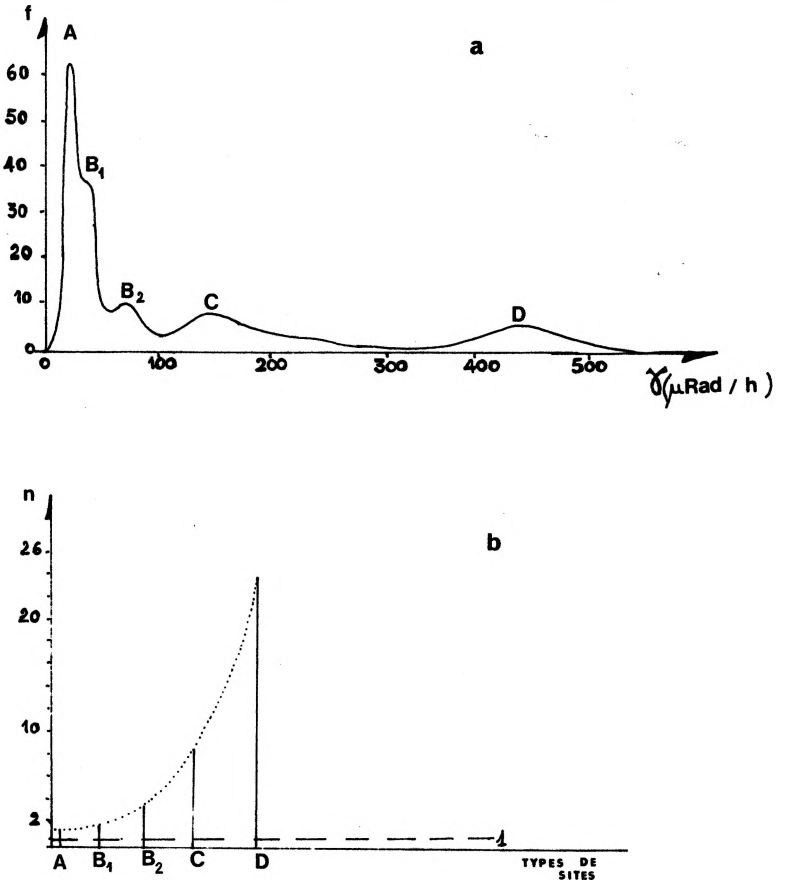


Fig. 3. (a) Répartition statistique (courbe de fréquence) des mesures. Presqu'ile de Guérande. A, Environnement naturel; B_1, mineralisations non exploitées; B_2, remblais et déblais miniers dispersés; C, reconnaissances, décapages sur minéralisations; D, installation minière en activité. (b) Effet multiplicateur des anomalies liées aux activités minières par rapport à l'environnement naturel. Presqu'ile de Guérande. (A, B, C, D, *vide* Fig. 3(a)) NB: La ligne pointillée horizontale représente le niveau de référence de la radioactivité γ naturelle du sous-sol.

hors périmètre protégé, présentent par contre des valeurs oscillant autour de 70 μ rad h^{-1} sur plusieurs centaines de mètres.

Anomalies diverses

(a) *Lotissement de Lérat* (1 km env. au SE de la mine) ce lotissement est en cours de construction, dans le remblai des accès nous avons noté des

valeurs locales plus fortes, avec un maximum a 60 μ rad h^{-1} localisé sur quelques m^2.

(b) *Nouvelle jetée—La Turballe*—A la Turballe (4 km au S–SE de la mine) la nouvelle jetée, en cours d'édification au 25 octobre 1980 émettait en surface 16 à 20 μ rad h^{-1}. Sur le parement latéral, à 2–3 m sous la surface, une couche de remblais (50 à 80 cm d'épaisseur sur une centaine de mètres de long) irradiait entre 35 et 55 μ rad h^{-1}. La nature pétrographique de ce remblai est identique à celle des déblais miniers.

Evaluation des perturbations

A partir des observations précédentes on peut tenter d'évaluer l'effet multiplicateur induit par l'exploitation dans ce secteur (Tableau 4, Fig. 3).

L'ambiance naturelle de référence étant celle des granites et roches métamorphiques dépourvues de minéralisations, on peut distinguer cinq grandes familles, échelonnées sur cinq niveaux de radioactivité (Fig. 3a).

Une zone minéralisée dans son contexte naturel a une radioactivité γ légèrement supérieur (2 fois environ) à l'ambiance locale. Dès qu'il y a reconnaissance l'augmentation de radioactivité peut être multipliée par dix lorsqu'il y a exploitation par vingt-cinq. Toutefois, le réaménagement, s'il est bien fait, peut ramener la radioactivité résiduelle a une valeur voisine de l'ambiance naturelle de départ. Cependant la dispersion de résidus (remblais, empierrement) peut provoquer un accroissement notable (environ 5 fois) du rayonnement (Fig. 3b).

En résumé l'effet sur l'environnement ne peut être nié, en presqu'ile guérandaise, même s'il ne s'exerce que sur quelques secteurs relativement bien circonscrits.

Un exemple de secteur mineralisé à gîte plus étendu et activités annexes importantes (Centre Régional de Traitement des Minerais St Crespin sur Moine et l'Ecarpière (44–85))

Distribution générale des mesures et ambiance locale naturelle

Les 391 mesures effectuées se répartissent de 6 μ rad h^{-1} (Cugand-85) et 125 μ rad h^{-1} (l'Ecarpière-44). Ce dernier chiffre est le maximum absolu noté près des installations de l'usine de traitement des minerais. La totalité du secteur prospecté se situe entre Gétigné et St Crespin de part et d'autre de la vallée de la Moine affluent rive droite de la Sevre Nantaise (Fig. 4).

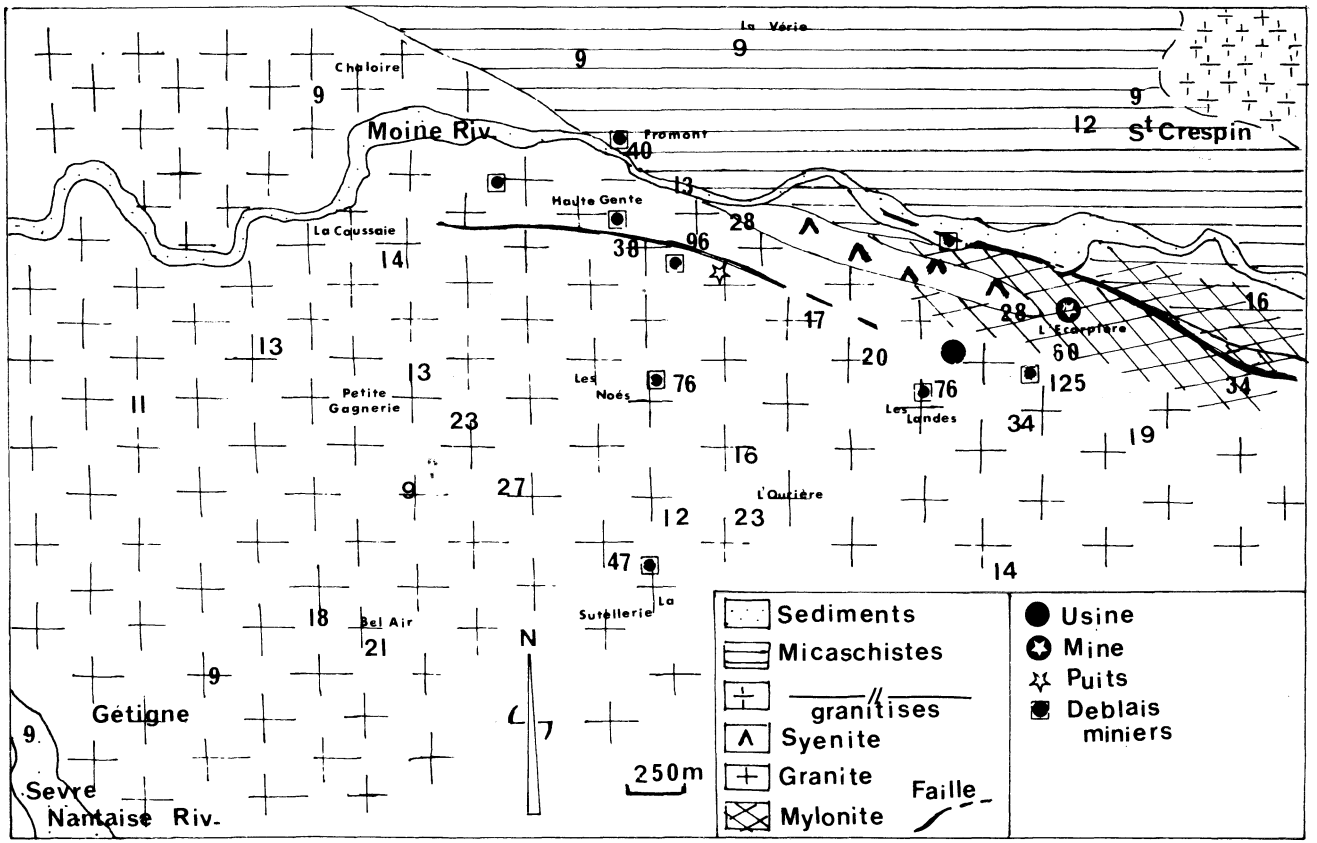


Fig. 4. Principaux sites étudiés dans la région de Vendée; avec quelques valeurs moyennes de radioactivité γ (en μrad h^{-1}).

Suivant l'épaisseur du recouvrement l'ambiance naturelle locale, due au granite (batholithe de Clisson-Mortagne), varie de 10 à 20 μrad h^{-1}. La valeur minimale (6 μrad h^{-1}) a été notée sur les alluvions hydratées de la rivière. Dix-huit mesures ont été faites sur des affleurements de granite, en divers lieux (notamment la Coussaie—La Petite Gagnerie—L'Ouvrière—Bel Air). Elles donnent l'indication d'un rayonnement γ naturel compris entre 13·8 et 27·4 μrad h^{-1} (moyenne 21 μrad h^{-1}).

Anomalies liées au centre d'exploitation et de traitement

Le Centre de l'Ecarpière—les Landes fonctionne depuis de nombreuses années sur un ancien site d'exploitation. Le long de la route d'accès à l'usine les valeurs mesurées s'échelonnent de 41 à 124 μrad h^{-1} (moyenne 76 μrad h^{-1}). A partir du chemin longeant les bassins au Sud-Est du site, la radioactivité γ moyenne est de 34 μrad h^{-1} avec des valeurs atteignant 70 μrad h^{-1}.

C'est à l'est des installations, près des bassins de décantation, que le maximum a été atteint (125 μrad h^{-1}).

TABLEAU 5

Exemples d'Anomalies de Radioactivité γ Induites dans l'Environnement, par l'Extraction d'Uranium en Bretagne Méridionale (Secteur de Getigné)

Lieux	*Nombre de mesures*	γ (μrad h^{-1})			*Observations*
		Min.	*Moy.*	*Max.*	
Haute Gente	3	14·9	27·6	34·7	Soufflerie d'aeration (puits de mine)
La Mortière	10	20·9	33·8	44·0	Remblais
Haute Gente	7	11·2	96·9	135·9	Remblais
Vallée de la Moine (Aval Ecarpière)	3	32·8	41·9	55·0	Boues d'emissaire issu de l'usine et déversant en permanence à la rivière
Vallée de la Moine (Aval Ecarpière)	2	47·9	48·0	48·2	Verse à 'stériles'
Grande Pièce	8	19·6	55·8	66·8	Empierrement de chemin rural
Haute Gente	3	28·0	36·2	48·0	Empierrement de chemin rural
La Charrie	2	76·5	100·6	124·8	Empierrement de chemin rural
La Sutellerie	2	42·8	46·6	50·4	Empierrement de chemin rural

Les autres anomalies—leur importance
Contrairement au secteur précédent, nous n'avons pas relevé d'indices, ni de découvertes de prospections. Les anomalies indirectement liées au centre de traitement sont cependant plus nombreuses qu'en presqu'ile guérandaise. Pour l'essentiel elles relèvent de l'utilisation en remblais de déchets d'extraction et/ou de traitement (Tableau 5).

Evaluation des perturbations (*Fig. 5a,b*)
L'effet *direct* de l'usine sur l'environnement reste circonscrit à ses abords

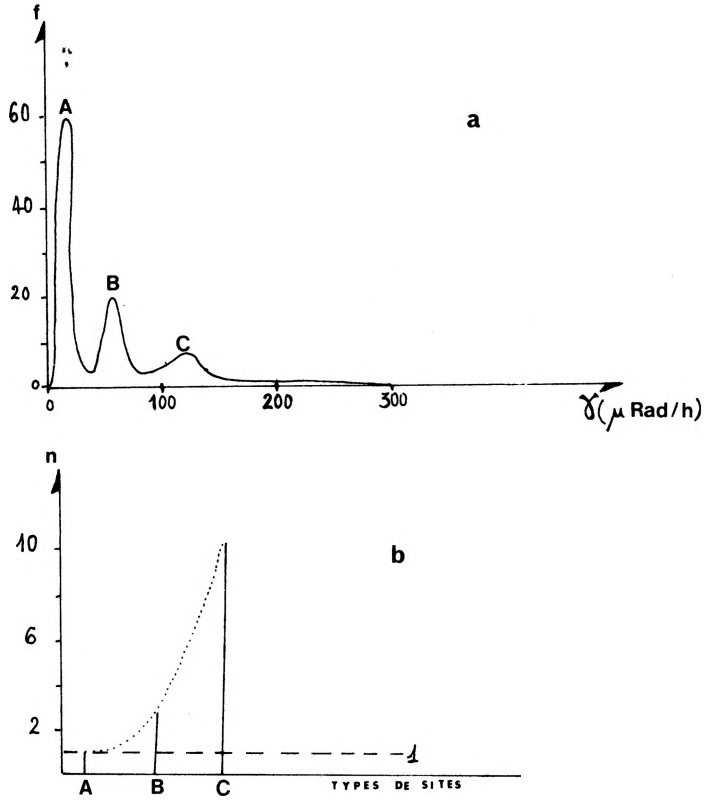


Fig. 5. (a) Répartition statistique (courbe de fréquence) des mesures. Division de Vendée (Getigné—St. Crespin). γ en μradh^{-1}. A, Environnement naturel. B, Remblais déblais, verses effluents. C, Installation d'activité minière. (b) Effet multiplicateur des anomalies liées aux activités minières par rapport à un environnement naturel (Getigné—St Crespin). (A, B, C, *vide* Fig. 5(a)) NB: La ligne pointillée horizontale représente le niveau de référence de la radioactivé γ naturelle de sous-sol.

immédiats. Il multiplie d'un facteur moyen de 3 la radioactivité locale, avec quelques pointes (6 à 8 fois) et exceptionnellement un maximum de 10 fois.

Les autres anomalies sont liées à une utilisation de 'stériles' en empierrement de chemins ruraux et en remblais, à un déversement de boues radioactives à la Moine, et à une verse à stériles longeant la rive gauche de la Moine et abondamment lessivée par des pluies. Ces anomalies augmentent d'un facteur moyen de 2 à 3 fois la radioactivité ambiante (pouvant atteindre 10 fois celle-ci). Leur dispersion géographique et le drainage vers la Moine occasionne un effet de dissémination important et inquiétant.

Un exemple de secteur mineralisé d'exploitation ancienne—secteur de Pontivy (56)

Distribution générale des mesures (*Fig. 6*)
Les 691 mesures faites ont permis de dresser un inventaire de la radioactivité γ des communes de Pontivy, Cleguerec, Malguenac, le Sourn, Guern, Melrand, Bubry, Persquen, Locmalo. La radioactivité γ ambiante naturelle locale moyenne varie de 3 (sédiments de vallées récentes) à 15 μ rad h^{-1} (sous sol granitique sous couverture végétale), en passant par 10 μ rad h^{-1} (sous sol schisteux et micaschisteux).

Cependant, à l'intérieur de constructions en granite (Eglises de Quelven, Guern, Lignol, porches de maisons) la radioactivité varie de 11 à 21 μ rad h^{-1}.

Anomalies relevées
Dans ce secteur nous nous sommes particulièrement attachés à l'étude des réaménagements des nombreuses exploitations anciennes et à l'activité des exploitations récentes et de leurs abords. Dans ce cadre une centaine de mesures ont été effectuées. Les 22 anomalies relevées peuvent se rapporter à divers types: effluents (Stang Niro en Lignol, le Sulliado) dépôts de stériles et de minerais abandonnés (Persquen, Penhouet, Lignol), remblais et empierrements en réemploi (Quistiav en Guern—Persquen Coscodo).

Mines en activité et abords. A Persquen (Sulliado) on note 25 μ rad h^{-1} avant l'entrée de carreau, sur la route. L'accès au carreau, coté nord, présente un maximum de 800 μ rad h^{-1}. Mesures comparables à Persquen—Penhouet (58 et 600). A Lignol (Stang, Niro) sur le carreau de

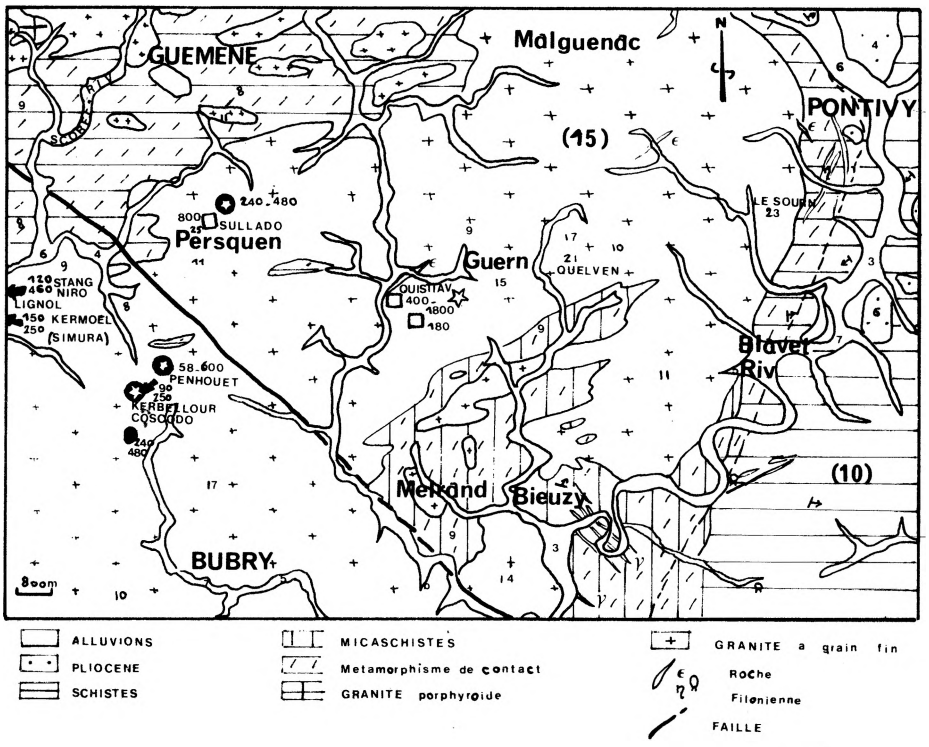


Fig. 6. Principaux sites étudiés dans la région de Pontivy. (γ en μ rad h^{-1}).

mine on note 120 μ rad h^{-1} et la sortie des boues de lavage dans le fossé en bordure de route accuse 460 μ rad h^{-1}. A Persquen Coscodo ce sont des valeurs de 150 μ rad h^{-1} notées sur le carreau, et dans le chemin bordant les verses à stériles 220 μ rad h^{-1}.

Reconnaissances d'indices. Un filon décapé, à Persquen Coscodo présente des valeurs allant de 240 à 480 μ rad/h.

Anciennes mines. A Quistiav l'ancien carreau présente des dépôts de stériles (120 à 180 μ rad h^{-1}, des résidus de minerais près de l'entrée (400 μ rad h^{-1}), des déblais de minerais très actifs (1800 à 200 μ rad h^{-1}). A Lignol, l'ancienne mine de la Simura présente une activité comprise entre 150 et 250 μ rad h^{-1}.

Evaluation des perturbations (*Fig. 7a,b*)
L'effet direct des mines en activité et abandonnées reste limité à

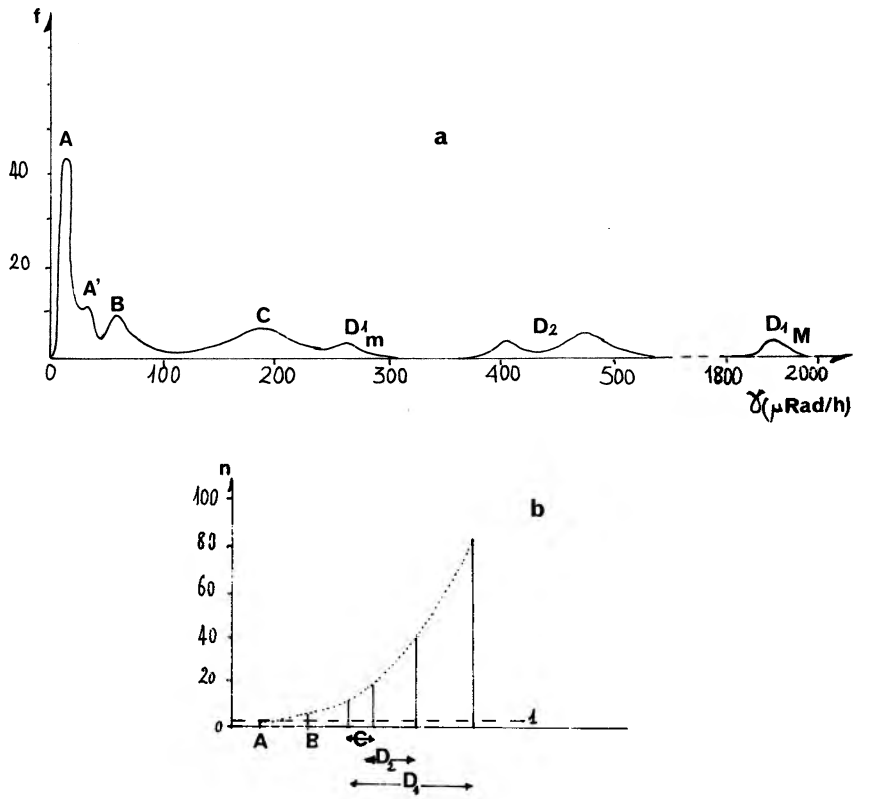


Fig. 7. (a) Répartition statistique (courbe de fréquence) des mesures Région de Pontivy. γ en μrad h^{-1}. A, Environnement régional naturel. A', Constructions en granite. B, Remblais et déblais miniers. C, Reconnaissances et décapages sur minéralisations. D_1, Anciens caneaux de mines abandonnées, non réaménagés. D_2, Mines en activité. (b) Effet multiplicateur des anomalies liées aux activités minières par rapport a l'environnement naturel (région de Pontivy). (A, A', B, C, D_1, D_2, *vide* Fig. 6(a)) NB: La ligne pointillée horizontale représente le niveau de référence de la radioactivité γ naturelle du sous-sol.

l'environnement immédiat. Son effet multiplicateur est très important (les sites visités présentant de 10 à 80 fois la valeur de l'ambiance régionale normale). Le point très préoccupant révélé dans ce secteur par notre étude est l'absence de cloture et l'état d'abandon des anciennes exploitations visitées: aucune n'est réaménagée, nous avons observé des animaux en pâture sur l'ancienne mine de Quistiav, des panneaux rouillés et illisibles sont innefficaces. Nous avons observé des pompages d'eau faits par les agriculteurs dans d'anciennes carrières noyées.

Dans les mines en activité les effluents boueux actifs vont souvent au fossé et les chemins proches des verses à stériles sont contaminés (facteur 5 d'accroissement de radioactivité).

Les reconnaissances introduisent un effet multiplicateur représentant 10 fois l'ambiance normale (Fig. 7b).

Mesures en agglomération

Les légères anomalies relevées dans le Morbihan à l'intérieur des bâtiments nous ont incité à examiner s'il existait un effet d'agglomération éventuel.

Une cinquantaine de mesures (dont 15 à Nantes) ont été faites dans les habitats groupés. Elles sont reportées sur le Tableau 6.

Les valeurs ne montrent pas d'anomalies marquantes et reflètent l'ambiance naturelle. On remarquera les valeurs faibles de Cugand et Gétigné (effet du manteau alluvionnaire de la vallée de la Sèvre), du Pallet (alluvions et gabbros) et les valeurs parfois un peu plus élevées de Gorges et Clisson (granites). L'effet très légèrement plus élevé noté pour les bâtiments en granite de Pontivy reste donc faible et circonscrit à l'intérieur des constructions.

TABLEAU 6

Mesures de Radioactivité γ en Agglomération (Bretagne Méridionale)

Localités	$\gamma(\mu rad\,h^{-1})$	*Principaux matériaux de construction*	*Sous-sol*
Nantes	14–15·5	Tuffeau—granite—micaschistes	Cristallophylliens et sédiments
St Sébastien sur Loire	12·6–12·8	Tuffeau—granite—micaschistes	Cristallophylliens et sédiments
Vertou	10·7–14·6	Gneiss—micaschistes	Cristallophylliens et sédiments
Le Pallet	7·7–9·9	Schistes crist.—gabbros	Gabbros
Gorges	13·5–16·5	Schistes crist.—granites	Granites
Clisson	11·3–16·4	Granites—micaschistes	Granite–sédiments
Getigné	8·6–9·6	Micaschistes	Micaschistes
Cugand	6·0–9·7	Micaschistes	Sédiments
St Crepin	9·5–15·9	Granite—micaschistes	Cristallin

CONCLUSIONS

Limites de l'étude

Notre étude a été volontairement limitée à la radioactivité γ. Les modifications induites par les autres types de rayonnements restent à inventorier. Il en est de même des pollutions éventuelles tant atmosphériques (radon, poussières) qu'aquatiques (substances dissoutes, sédiments) et de leurs répercussions sur le cycle géochimique externe et biologique.

Contexte géologique naturel et radioactivité

L'étude confirme l'existence d'une variation significative de la radioactivité γ naturelle en fonction des types de roches constituant le sous-sol, de l'épaisseur et de l'état (hydraté ou non) du manteau alluvionnaire ou des sols.

Les valeurs obtenues sont en excellent accord avec celles présentées dans la littérature internationale (Tableaux 2 et 3b; Biau & Moroni, 1977).

Dans la région étudiée les roches granitiques ordinaires sont les plus actives, ce sont d'ailleurs elles qui portent les minéralisations exploitées. Viennent ensuite les roches métamorphiques (gneiss puis micaschistes) et enfin les roches sédimentaires (schistes), les grès paléozoïques étant très nettement les moins actifs.

Modifications anthropiques de la radioactivité γ naturelle

L'intérieur des maisons de granite présente une très légère anomalie. Il n'y a pas d'anomalies décelable par effet d'agglomération dans les rues.

Par contre dans les zones rurales proches d'installations minières actives ou abandonnées de nombreuses et diverses anomalies doivent être soulignées:

(1) Dans les secteurs sièges d'activités de traitement de minerai (St Crespin—l'Ecarpière) et d'extraction sur minéralisation étendues, les perturbations locales sont très nettes mais de problème essentiel est celui de la *dissémination* importante des *résidus et 'stériles' actifs*. Cette dissémination sous forme de déblais, remblais, empierrages de chemins

ruraux provoque un accroissement de radioactivité de 2 à 6 fois plus élevé que l'ambiance naturelle.

(2) Dans le secteur de Piriac, ou s'exerce uniquement une activité extractive récente sur des minéralisations plus ponctuelles et à forte teneur, la dissémination est moins généralisée mais présente le plus souvent des valeurs locales plus élevées. Le réaménagement (Kerudal) paraît efficace sur le site lui même mais les abords du site sont négligés.

(3) Dans le secteur de Pontivy, siège d'activité plus anciennes, les problèmes posés par le manque de précautions au niveau des exploitations en cours et l'*absence totale de réaménagement* d'exploitations anciennes ou restent des minerais actifs exposés a tout venant semblent des plus graves avec des radioactivités γ locales multipliées par 80!

Quand on sait que le rendement en uranium métal est inférieur à 1 % alors que les matériaux extraits représentent plus de 250 000 tonnes en Vendée, on voit qu'on est en droit de se poser des questions sur l'impact des stériles et déchets de minerais avant et après traitement.

L'activité extractive uranifère dans la région étudiée révèle et amplifie (de 3 à 80 fois) un rayonnement naturel qui, normalement est atténué par le sol et un manteau d'altération hydraté parfois très épais.

L'exploitation intensifie et dissémine le rayonnement, non seulement à proximité immédiate des sites mais régionalement par une utilisation laxiste et abusive de matériaux résiduels encore actifs dans les voiries, remblais, jetées portuaires! C'est dans les régions ou l'activité extractive est la plus ancienne que le relachement est le plus grand (pompage d'eau dans d'anciennes carrières, pacage d'animaux sur anciens carreaux de mines...).

Conséquences possibles—extension pluridisciplinaire envisageable

Les conséquences de tels états de faits bien que n'ayant pas fait l'objet de notre étude, doivent être envisagées. Elles peuvent se situer à deux niveaux qu'il conviendrait de prendre en considération: génétique et épidémiologie. Du point de vue génétique on sait que la controverse reste vive sur l'effet éventuel de doses dites faibles. Les enquêtes réalisées au Kerala (Gopal-Ayengar *et al.*, 1972; Kochupillaï *et al.*, 1976; George *et al.*, 1976) et au Brésil (Barcinski *et al.*, 1975; Penna-Franca, 1977) sur des populations locales exposées depuis toujours à des niveaux de rayonnement γ naturel supérieures à la normale ont donné des résultats

qui semblent positifs. Des études récentes faites en laboratoire à Lodève (Leonard *et al.*, 1979) n'ont pas permis de mettre en évidence d'effets mutagènes nets, on peut se poser des questions sur la validité des choix du champ d'investigation retenu (laboratoire) et de celui des animaux testé (lapins).

Du point de vue épidémiologique il semblerait utile de préciser la relations possible entre dose reçue et effet manifesté. Une étude statistique serrée, prenant en compte les autres effets environnementaux, les habitudes de vie, le facteur héréditaire pourrait peut être discriminer s'il existe une fréquence anormale de certains type de cancer dans les régions uranifères.

L'augmentation locale et régionale de radioactivité induite par l'extraction de minerais doit, en tous cas, être étudiée dans ses effets possibles sur la population et sur les travailleurs des mines (Lowder & Condon, 1965).

Évaluations officielles et législation

La législation est basée sur des évaluations officielles. Ces dernières sont elles correctes? Le décret 67-228 du 15 mars 1967, concernant la protection des travailleurs contre les rayonnements ionisants est, en France, toujours en vigueur. Il paraît largement dépassé. En effet, *les décrets* d'application font appel (annexes 3–4–5) à des doses maximales admissibles équivalentes dont la validité reste a démontrer. Ils *ne prennent pas du tout en compte, en particulier, les modifications du rayonnement induites par l'activité extractive*; que nous venons d'étudier. Les valeurs les plus élevées mesurées, correspondant à plusieurs rems par an dans des lieux libres à l'accés au public, ne sont donc pas couvertes par la loi. Ceci paraît aberrant. Des matériaux actifs sont par ailleurs couramment manipulés à la pelle mécanique (Lignol) et on peut craindre pour la santé des travailleurs des mines.

'L'annexe 4' (Fig. 8) est un stéréotype, trop commode, figurant depuis des années dans toutes les études d'impact d'ouverture de chantiers d'exploitation. Elle ne signifie pas grand chose.

D'une part on voit qu'*elle ne tient aucun compte* ('Apports des matériaux terrestres') *des variations locales de la radioactivité naturelle* or nous savons que les doses reçues par les populations peuvent, en fonction de la géologie locale, varier de 1 à 30 (Stranden, 1977; Swedjemark, 1979)

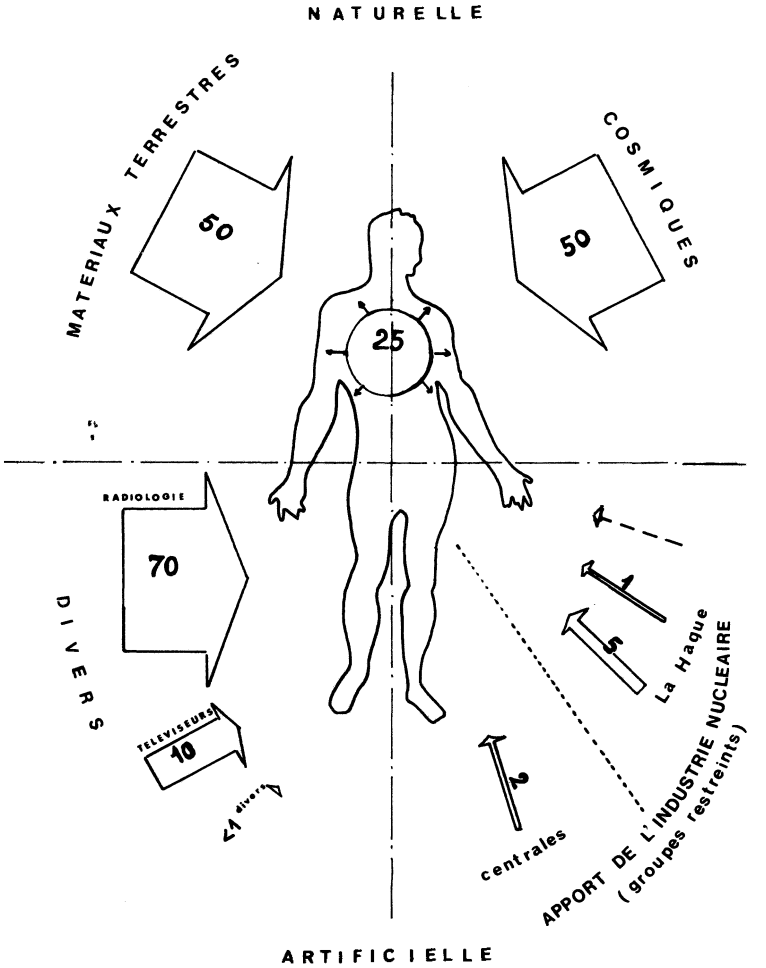


Fig. 8. Exposition moyenne annuelle de la population aux rayonnements ionisants (en millirems) (CEA, 1978).

en Scandinavie et de 1 à 3 en Bretagne méridionale (présente étude)/comme aux Etats Unis (Solon *et al.*, 1960).

D'autre part, et *surtout, elle ne tient aucun compte* ('Apports de l'industrie nucléaire') *des modifications de la radioactivité par l'activité extractive et la dissémination régionale des déblais et déchets.* Nous venons de voir que ces modifications, en Bretagne méridionale, augmentent de 2 à 10 fois la radioactivité ambiante et parfois jusqu-à 80

fois celle-ci! Ceci est en parfait accord avec les travaux de Swedjemark (1979) et de Bøtter-Jensen *et al.* (1978) en Scandinavie.

La rubrique 'apports de l'industrie nucléaire' est donc, à tout le moins très largement sous évaluée dans ce document.

Un sérieux effort de remise à jour des textes de déontologie pour l'extraction uranifère et le réaménagement des sites apparaît très urgent concernant une activité qui met à jour et disperse plus d'un million de tonnes de minerais chaque année, sur le territoire français et singulièrement en Bretagne méridionale—Languedoc—Auvergne—Limousin.

REMERCIEMENTS

Je remercie M. Gallou (ex. Coll. Ecole de Santé de Rennes) et R. Diot (Dr 3e cycle en Géologie) pour leur aide efficace sur le terrain; J. M. Martin et son groupe de Géologie Nucléaire de l'ENS Ulm (Paris) pour le prêt de matériel d'intercalibration et leurs remarques et suggestions toujours utiles; L. Monition (AFME Sophia-Antipolis) pour sa lecture critique du manuscrit et ses encouragements.

BIBLIOGRAPHIE

Barcinski, M. A., Abreu, M. C., Almeida, J. C. C., Naya, J. M., Fonseca, L. G. & Castro, L. E. (1975). Cytogenetic investigations in a Brazilian population living in an area of high natural radiation. *Am. J. Hum. Genet.*, **27**, 802–5.

Biau, A. & Moroni, J. P. (1977). *A review of existing information on natural radioactivity in Europe*. Luxemburg, SCPRI.

Bøtter-Jensen, L., Christensen, P. & Leth Nielsen, B. (1978). *External radiation exposure associated with uranium thorium mineralization on the Kvanefjeld Plateau, Greenland*. Report Risø M. Roskilde, Risø Nat. Lab.

Bøtter-Jensen, L., Løvborg, L. & Leth-Nielsen, B. (1979). Gamma exposure levels from natural radioactivity in Greenland. *Seminar on Radiological Burden of Man from Natural Radioactivity in the Countries of the European Community, La Vésinet, 4–6 December 1979*. Euratom.

CEA (1978). *Document standard, figurant dans toutes les études d'impact, pour installations chantiers, mines; concernant les produits radioactifs*, Annexe 4. Fontenay-aux-Roses, Commissariat à l'Energie Atomique (CEA).

Dahlkamp, F. J. (1980). Typology and geographic/geotectonic distribution of uranium deposits. *Revue Inst. Fr. Petrole*, **35**, 499–536.

Dudley, R. A. (1959). Natural and artificial radiation background of man. In *Low level radiation*, 7–31. Washington DC, American Association for the Advancement of Science.

Edwards, J. H. & Harnden, D. G. (1977). Down's Syndrome in Kerala. *Nature, Lond.*, **267**, 728–9.

George, K. P., Sundaram, K., Mistry, K. B. & Gopal-Ayengar, A. R. (1976). Investigations on human populations residing in high background radiation area of Kerala and adjoining regions. In *Biochemical and environmental effects of low level radiation*, **2**, 325–9. Vienna, IAEA.

Gopal-Ayengar, A. R., Sundaram, K., Mistry, K. B., Sunta, C. M., Nambi, K. S. U., Kathuria, S. P., Basu, A. S. & David, M. (1972). Evaluation of the long-term effects of high background radiation on selected population groups on the Kerala Coast. *Proc. Conf. on peaceful use of atomic energy*, 4th, **11**, 31–51. New York, UN.

Guegueniat, J. M., Rouville, A. & Madelmont, C. (1977). Variation de la dose due a' l'irradiation naturelle dans la région parisienne. *CEA Commn*, **351**.

Kochupillai, M., Verma, I. C., Grewal, M. S. & Ramalingaswami, V. (1976). Down's Syndrome and related abnormalities in an area of high background radiation in coastal Kerala. *Nature, Lond.*, **262**, 60–1.

Leonard, A., Delpoux, M., Decat, G. & Leonard, E. D. (1979). Natural radioactivity in southwest France and its possible genetic consequences for mammals. *Radiat. Res.*, **77**, 170–80.

Lowder, W. M. & Condon, W. J. (1965). Measurement of the exposure of human population to environmental radiation. *Nature, Lond.*, **206**, 658–62.

Macaulay, J. R. & Colgan, P. A. (1980). γ Ray background radiation measurement in Ireland. *Health Physics*, **39**, 821–6.

Nielsen, B. L. & Bøtter-Jensen, L. (1973). Natural background radiation levels from areas of major geological units in Greenland, determined by means of thermoluminescence dosimetry. *Modern Geol.*, **4**, 119–29.

Ohlsen, H. (1971). *Determination of mean population burden from natural external radiation in Soviet zone of Germany*. US Atomic Energy Commission, Translation No. 7216. Washington, DC.

Penna-Franca, E. (1977). Review in Brazilian investigations in areas of high natural radioactivity, Part 2, Internal exposure and cytogenic survey. *Int. Symp. on areas of High Natural Radioactivity, de Caldas, Brazil, 16–20 June 1977*, 29–48. Brasilia, Academia Brasiliera de Ciencias.

Strackee, L. & Van Dongen, R. (1979). Natural radiation background levels in Netherlands and measurement difficulties encountered (preprint). *Seminar on Radiological Burden of Man from Natural Radioactivity in the Countries of the European Community, Le Vésinet, 4–6 December 1979*. Euratom.

Stranden, E. (1977). Population doses from environmental gamma-radiations in Norway. *Health Physics*, **33**, 319–22.

Solon, L. R., Lowder, W. M., Shambon, A. & Blatz, H. (1960). Investigations of natural environmental radiation. *Science, N.Y.*, **131**, 903–6.

Swedjemark, G. A. (1979). Terrestrial and cosmic radiation in Scandinavia (preprint). *Seminar on Radiological Burden of Man from Natural*

Radioactivity in the Countries of the European Community, Le Vésinet, 4–6 December 1979. Euratom.

Thompson, T. T. & Widberg, P. (1963). Some observations of variations of the natural background radiation. *Tellus*, **15**, 313–18.

Tschirf, E. (1979). Environmental radiation doses in Austria. In *Seminar on Radiological Burden of Man from Natural Radioactivity in the Countries of the European Community, Le Vésinet, 4–6 December 1979*. Euratom.