A.AC.-82/B/L-1276

MASTER

REPUBLIQUE FRANCAISE

RETOMBEES RADIOACTIVES
à la suite des tirs nucléaires en Polynésie

Années 1967 et 1968

DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED

INTRODUCTION

Le présent rapport fait suite au document présenté à l'issue de la campagne d'essais nucléaires effectuée en 1966 en Polynésie Française. Il concerne la campagne d'essais 1967 qui, en raison de son caractère réduit, n'avait pas paru justifier un rapport particulier, et la campagne d'essais 1968 au cours de laquelle deux explosions d'engins thermo-nucléaires ont été réalisées.

L'esprit dans lequel la surveillance mondiale des retombées avait été organisée en 1966 a guidé de la même façon cette surveillance au cours des années 1967 et 1968. En particulier, la nature des prélèvements effectués et la répartition des lieux de prélèvements sont restés pratiquement inchangés.

Rappelons pour mémoire que les échantillons qui appartiennent soit au milieu physique (poussières atmosphériques) soit au milieu biologique (produits alimentaires locaux) sont issus :

- de territoires français (métropole et territoires d'outre-mer
- de pays où la France dispose d'une implantation (bases militaires)
- enfin, de pays avec lesquels une coopération bi-latérale a été établie, ce qui est le cas du Chili, de la Colombie, de l'Equateur et du Pérou.

L'ensemble des résultats obtenus est présenté , discuté et interprété dans ce rapport, selon le plan suivant :

<u>1ère partie</u> :

Méthodes d'analyses et de mesures utilisées.

<u>2ème partie</u> :

Campagne de tir 1967

- Chapitre I :

  Processus de dispersion atmosphérique et océanique de la contamination et de leur résultante au niveau de la chaine alimentaire et de l'Homme.

- Chapitre II :

  Résultats des mesures et interprétation sanitaire

- Annexe A-67

  Tableaux et graphiques des résultats

<u>3ème partie</u> :

Campagne de tir 1968 avec les mêmes subdivisions que dans la 2ème partie relative à la campagne de tir 1967.

PRINCIPES GENERAUX.

Les laboratoires qui effectuent des mesures de radioactivité ont actuellement à leur disposition un grand nombre de méthodes se différenciant par leur spécifité, leur précision, leur longueur et les moyens nécessaires. Le choix de la méthode appropriée doit s'effectuer essentiellement en fonction du but que l'on se propose d'atteindre.

Ainsi, dans l'optique du contrôle des effets éventuels d'une série d'explosions nucléaires expérimentales sur la pollution du milieu, il s'agit avant tout de chercher à savoir si la contamination observée est ou non imputable aux explosions mises en cause. Ce principe justifie l'utilisation de méthodes "qualitatives" ou "semi-quantitatives" ainsi que de méthodes de mesure de la radioactivité globale : leur rôle est de détecter une présence non négligeable de produits de fission susceptibles d'avoir pour origine des explosions nucléaires récentes et connues. Négative, la réponse peut constituer une fin en soi; par contre, si elle est positive, il est nécessaire de mettre en oeuvre des techniques plus élaborées permettant une évaluation des risques.

Afin de permettre un jugement plus objectif des résultats présentés et interprétés dans ce rapport, il a paru opportun de décrire succintement les techniques qui, dans l'esprit du principe énoncé ci-dessus, ont été utilisées pour leur élaboration.

I. MILIEU PHYSIQUE : POUSSIERES ATMOSPHERIQUES.

La surveillance de la pollution de l'atmosphère est réalisée par des mesures de radioactivité portant sur les poussières atmosphériques : des prélèvements sont effectués grâce à certains appareils (type pompe ou turbine) qui aspirent l'air ambiant au travers d'une couche filtrante spéciale sur laquelle se déposent les aérosols en suspension.

Différents types d'appareils sont utilisés :

chacun d'eux est caractérisé par le volume horaire d'air qu'il peut aspirer (10 à plus de 500 m3/heure), par la nature et la dimension de la couche filtrante utilisée, par les possibilités de mesure exacte du volume d'air filtré.

Ainsi, selon l'appareil utilisé et selon la durée du prélèvement, il est possible d'effectuer :

- soit une mesure d'activité globale artificielle avec éventuellement une étude de sa décroissance,
- soit une analyse qualitative des radioéléments composant la pollution,
- soit une analyse quantitative de ceux-ci.

L'ensemble de ces mesures permet alors de situer la date de libération de la pollution, d'en évaluer le niveau et, de là, les risques qu'elle peut entraîner pour l'homme.

I-1. Mesure de l'activité β globale artificielle.

Dans le cas présent, deux méthodes différentes de mesure de l'activité β globale artificielle des poussières atmosphériques ont été utilisées : il a été vérifié par ailleurs qu'elles conduisaient toutes deux à des résultats équivalents.

Ces mesures sont entreprises sur des filtres prélevés quotidiennement par des appareils à petit ou moyen débit.

I-1-1. 1ère méthode.

I-1-1-1. Principe.

La radioactivité déposée sur le filtre est imputable à la radioactivité artificielle et à la radioactivité naturelle due aux dépôts actifs du radon et du thoron et qui décroît rapidement; les mesures sont entreprises suffisamment longtemps après le prélèvement afin que la décroissance de la radioactivité naturelle rende négligeable sa contribution à l'activité totale.

Chaque filtre est mesuré 3 fois; si les radioéléments d'origine récente sont présents, une décroissance apparaît: on peut alors, en tenant compte de la loi de décroissance d'un mélange de produits de fission $A = Aot^{-\alpha}$, d'une part déterminer l'activité artificielle au jour du prélèvement, d'autre part chercher à connaître la date de l'explosion à laquelle peuvent être attribués les produits de fission présents.

I-1-1-2. Méthode.

Les 3 mesures de l'activité β sont effectuées sur des ensembles de comptage à bas bruit de fond. Elles ont lieu respectivement 5, 15 et 21 jours après le prélèvement, et l'exploitation des résultats obtenus est faite par un ordinateur.

Cette exploitation consiste à chercher par une méthode des moindres carrés, la droite qui, en coordonnées logarithmiques, passe par les 3 points représentatifs des 3 mesures; extrapolée au jour du prélèvement, la droite permet de connaître l'activité à ce jour.

D'autre part, connaissant les dates des différentes explosions, le programme est prévu pour choisir le coefficient α le plus proche de 1, 2, fixant ainsi la date de l'explosion à laquelle doivent être attribués les produits.

Dans le cas où le prélèvement contient des produits de fission provenant de plusieurs explosions, on constate que le coefficient tend à s'écarter notablement de la valeur 1, 2. En effet, à l'heure actuelle, dans la méthode retenue, les produits de fission sont considérés comme issus d'une explosion unique et ceci successivement pour toutes les dates d'explosions connues.

La date retenue est celle pour laquelle le coefficient α est le plus proche de 1, 2. La vraie valeur de α est donc comprise entre une valeur αi correspondant à la date Di de la ième explosion et une valeur αj correspondant à la date Dj de la jème explosion, pour lesquelles αi et αj sont les plus proches de 1, 2. Il serait donc plus exact d'écrire que α est compris entre αi et αj et que l'activité est comprise entre Ai et Aj.

I-1-2. 2ème méthode.

I-1-2-1. Principe.

Dans cette méthode, la mesure de l'activité β totale est entreprise dès réception du prélèvement. En utilisant la différence de période qui existe entre la radioactivité naturelle et la radioactivité artificielle on peut, par la méthode des mesures à durée contrôlée, évaluer la part revenant à chacun des deux phénomènes.

I-1-2-2. Méthode.

Le filtre correspondant au prélèvement journalier est soumis à 2 mesures successives. Les durées des 2 mesures sont respectivement t1 et t2; la 2ème mesure a lieu immédiatement après la 1ère.

Les temps t1 et t2 sont choisis de telle façon que la contribution de l'activité naturelle y soit la même (t2 étant donc supérieur à t1). La différence entre l'activité mesurée pendant t1 et l'activité mesurée pendant t2 correspond donc à l'activité artificielle mesurée pendant le temps (t2 - t1).

I-1-3. Résultats.

Les résultats de ces mesures sont exprimés en picoCurie et rapportés au m3 d'air. Pour leur interprétation, ils ont été regroupés par décade.

I-3. Identification et mesure des radioéléments.

Ce type de mesure s'effectue généralement sur des filtres à grande surface correspondant à des prélèvements hebdomadaires (appareils à gros débit).

Il s'agit d'examens de spectrométrie γ, utilisant un ensemble de détection à cristal d'iodure de sodium, et un sélecteur d'amplitude multicanal.

L'étude du spectre obtenu permet de caractériser par leur énergie la plupart des radioéléments émetteurs d'un rayonnement γ et qui composent le mélange de produits de fission: il est donc possible de confirmer la présence de produits de fission d'origine récente.

De plus, une analyse des spectres est effectuée sur ordinateur: elle permet d'évaluer l'activité des radioéléments repérés et de définir la contribution de chacun au sein du mélange des produits de fission.

2. MILIEU BIOLOGIQUE : DENREES ALIMENTAIRES.

Parmi les nombreux produits alimentaires, certains sont généralement reconnus pour être soit les détecteurs les plus sensibles de la pollution du milieu biologique, soit les vecteurs les plus importants de cette pollution pour l'homme. La motivation précise du choix qui a été fait sera exposée plus loin: ce choix conduit à effectuer des mesures sur un produit liquide, le lait, et sur des produits solides (légumes, fruits, céréales, poissons).

INTRODUCTION

Le présent rapport fait suite au document présenté à l'issue de la campagne d'essais nucléaires effectuée en 1966 en Polynésie Française. Il concerne la campagne d'essais 1967 qui, en raison de son caractère réduit, n'avait pas paru justifier un rapport particulier, et la campagne d'essais 1968 au cours de laquelle deux explosions d'engins thermo-nucléaires ont été réalisées.

L'esprit dans lequel la surveillance mondiale des retombées avait été organisée en 1966 a guidé de la même façon cette surveillance au cours des années 1967 et 1968. En particulier, la nature des prélèvements effectués et la répartition des lieux de prélèvements sont restés pratiquement inchangés.

Rappelons pour mémoire que les échantillons qui appartiennent soit au milieu physique (poussières atmosphériques) soit au milieu biologique (produits alimentaires locaux) sont issus :

- de territoires français (métropole et territoires d'outre-mer
- de pays où la France dispose d'une implantation (bases militaires)
- enfin, de pays avec lesquels une coopération bi-latérale a été établie, ce qui est le cas du Chili, de la Colombie, de l'Equateur et du Pérou.

L'ensemble des résultats obtenus est présenté , discuté et interprété dans ce rapport, selon le plan suivant :

<u>1ère partie</u> :

Méthodes d'analyses et de mesures utilisées.

<u>2ème partie</u> :

Campagne de tir 1967

- Chapitre I :

  Processus de dispersion atmosphérique et océanique de la contamination et de leur résultante au niveau de la chaine alimentaire et de l'Homme.

- Chapitre II :

  Résultats des mesures et interprétation sanitaire

- Annexe A-67

  Tableaux et graphiques des résultats

<u>3ème partie</u> :

Campagne de tir 1968 avec les mêmes subdivisions que dans la 2ème partie relative à la campagne de tir 1967.

Les techniques d'analyse et mesure utilisées sont les suivantes.

2-1. Echantillons biologiques autres que le lait.

2-1-1. Principes généraux.

Dès sa réception, l'échantillon frais est soumis à un examen de spectrométrie γ afin de détecter une pollution éventuelle non négligeable par des produits de fission d'origine récente émetteurs d'un rayonnement γ.

L'échantillon est ensuite minéralisé et, si la première mesure a fourni une réponse positive, un 2ème examen est pratiqué. A partir des cendres on effectue une mesure de l'activité β globale ainsi qu'un dosage de potassium qui permet de connaître l'activité naturelle due au potassium 40: la comparaison des deux valeurs situe le niveau de la pollution artificielle par les radioéléments émetteurs d'un rayonnement β. On isole ensuite les éléments insolubles sous forme d'oxalate (essentiellement les alcalino-terreux, dont le strontium 90 et la plupart des terres rares): la mesure de l'activité β du précipité fixe une limite supérieure de la contamination par le strontium 90.

Enfin, si cette valeur s'avère trop élevée, on mesure la pollution exacte par le strontium 90 en isolant son descendant, l'yttrium 90.

La succession graduée de ces techniques permet l'obtention rapide d'indications sommaires qui sont complétées peu à peu.

2-1-2. Examen de spectrométrie γ.

2-1-2-1. Méthode.

L'échantillon frais est déposé sur l'ensemble de détection constitué par un cristal d'iodure de sodium 4 X 4, relié à un sélecteur d'amplitude multicanal. La mesure s'effectue pendant 60 minutes: le spectre obtenu (qui explore la bande d'énergie comprise entre 0,05 Mev et 2 Mev) est interprété, après soustraction du bruit de fond.

2-1-2-2. Expression des résultats.

Pour exprimer le niveau de la pollution artificielle, on a choisi de chiffrer le rapport entre le nombre total d'impulsions enregistrées et celui qui apparaît au niveau du pic photoélectrique du potassium 40.

Lorsque ce dernier est seul présent, le rapport se situe aux environs de 4, et l'expérience a montré que s'il reste inférieur à 8, on peut admettre raisonnablement que l'activité d'autres radioéléments présents est faible ou nulle.

En outre, si d'autres pics photoélectriques sont visibles, on cherche à identifier les radioéléments correspondants.

La méthode reste donc semi-quantitative, le rapport γ total/40K indiquant seulement un ordre de grandeur de la pollution: si d'autres radioéléments sont détectés, les conditions de mesure n'en permettent toutefois pas une détermination quantitative.

Un autre mode d'expression des résultats a aussi été utilisé pour un certain nombre d'échantillons biologiques: dans ce cas, à partir du spectre γ, l'activité globale de l'échantillon est déterminée après déduction de l'activité due au potassium 40, par utilisation d'un facteur de conversion fonction de l'age des produits de fission. L'examen du spectre permet l'identification des produits de fission présents dans l'échantillon. Dans ce cas les résultats se rapportent alors à des produits lavés, vidés, prêts à la consommation, ce qui élimine la plus grande partie de la contamination externe.

Il faut noter que, du fait des très faibles activités constatées une fraction parfois importante de l'activité globale est due à des radioéléments non identifiables (produits de fission ou d'activation, radioéléments d'origine naturelle).

En ce qui concerne les résultats présentés ici, étant donné qu'il s'agit essentiellement de produits de fission anciens (pour les produits d'origine terrestre) ou de produits d'activation et de produits de fission anciens (pour les produits d'origine marine) le passage de l'intensité γ à l'activité spécifique a été effectué en adoptant un rapport nombre de désintégration/nombre de photon γ égal à 2. De ce fait, quels que soient les radio-éléments en cause, les valeurs obtenues représentent, dans le plus grand nombre des cas, une limite supérieure . En particulier, pour tous les prélèvements d'origine terrestre contenant essentiellement du ^{137}Cs, l'activité de ce dernier ne représente en général, que 40 à 60% de l'activité globale hors 40K.

2.1.3. Mesure de l'activité β globale et du potassium 40.

2.1.3.1. Méthode.

L'échantillon est minéralisé au four électrique à une température de 550° environ. Une partie aliquote des cendres est inserrée dans une capsule et son activité β mesurée. Sur une autre partie aliquote, on dose le potassium et l'on exprime son activité en potassium 40.

2.1.3.2. Expression des résultats.

On admet, pour exprimer le résultat, que toutes les impulsions β enregistrées sont issues du potassium 40 : elles sont donc traduites en picoCuries de potassium 40 rapportés au kilogramme frais d'échantillon. La comparaison avec la véritable valeur de l'activité due au potassium 40 permet de situer le niveau de la pollution par les radioélements artificiels émetteurs d'un rayonnement β.

Le mode opératoire ne cherchant pas à obtenir une très grande précision, la méthode est semi-quantitative.

2.1.4. Activité β du précipité d'oxalate.

2.1.4.1. Méthode.

A partir des cendres mises en solution, on précipite les éléments dont la forme oxalate est insoluble : le calcium sert d'entraineur et de support.

L'activité β d'une partie aliquote du précipité est déterminée à l'aide d'une installation de mesure à bas bruit de fond.

2.1.4.2 . Expression des résultats.

Les impulsions enregistrées sont supposées être dues uniquement à la présence de strontium 90 - Yttrium 90 à l'équilibre et traduites alors en picoCurie de strontium 90 équivalent rapportés au gramme de calcium et au kilogramme frais.

Si l'hypothèse d'une contamination unique par le strontium 90 et son descendant est réelle, la méthode donne une valeur assez bonne de cette pollution : sinon, elle en exprime une limite supérieure.

2.1.5. Mesure de la contamination par le strontium 90.

2.1.5.1. Méthode.

A partir du précipité d'oxalate remis en solution, on précipite les éléments insolubles sous forme d'hydroxyde, comme c'est le cas pour l'yttrium 90.

Le filtrat est conservé pendant 3 semaines, c'est à dire jusqu'à obtention du nouvel équilibre strontium 90 - yttrium 90.

La précipitation des hydroxydes qui est alors effectuée à nouveau n'entraîne plus que l'yttrium 90, les autres éléments insolubles ayant été entraînés lors de la première précipitation. L'activité β du précipité est alors mesurée et son évolution suivie au cours du temps afin de vérifier qu'il s'agit bien de l'yttrium 90 de période physique 64 heures.

2.1.5.2. Expression des résultats.

L'activité β est exprimée en picoCurie et rapportée au gramme de calcium et au kilogramme frais : elle correspond, par définition, à l'activité du strontium 90 présent.

La précision du résultat est bonne, mais varie avec le niveau de contamination.

2.2. Echantillon de lait.

2.2.1. Principes généraux

Comme les autres échantillons biologiques, le prélèvement de lait frais subit tout d'abord un examen de spectrométrie γ, orienté essentiellement vers la mesure de l'iode 131. Puis il est séché et minéralisé pour une mesure de la contamination par le césium 137 (spectrométrie γ) et une détermination de la contamination par le strontium 90.

2.2.2. Examens de spectrométrie γ.

2.2.2.1. Méthode

Elle est identique à celle qui est utilisée pour les autres échantillons biologiques.

2.2.2.2. Expression des résultats.

Le lait liquide se prêtant à des conditions de mesures rigoureuses et reproductibles, on peut, après les étalonnages ad-hoc, exprimer quantitativement une éventuelle pollution par l'iode 131 et le césium 137. Ces activités sont traduites en picoCurie par litre de lait frais.

2.2.3. Mesure du strontium 90.

2.2.3.1. Méthode.

Elle s'effectue à partir des cendres d'une façon à peu près semblable à la méthode utilisée pour les autres échantillons biologiques. Il est toutefois nécessaire d'effectuer, avant l'isolement de l'yttrium 90, un certain nombre de purifications.

2.2.3.2. Expression des résultats.

L'activité est traduite en picoCurie de strontium 90 par litre de lait.

2.3. Mesures de spectrométrie γ humaine.

2.3.1. Principe.

Ces mesures ont pour but d'évaluer directement sur les individus leur contamination par les éléments émetteurs d'un rayonnement γ. Le principe reste le même que pour tout examen de spectrométrie γ : le seul problème est celui de la "calibration" de l'échantillon, chaque individu se présentant avec une "géométrie" qui lui est propre.

2.3.2. Méthode

Les individus sont choisis au hasard dans la population : pour chacun d'eux sont notés le sexe, l'âge, l'origine, les caractéristiques du régime alimentaire moyen.

La mesure s'effectue dans une enceinte protégée, elle utilise un cristal d'iodure de sodium de dimension 8 x 4: la position de l'individu par rapport à cet ensemble a été déterminée préalablement de façon à assurer la meilleure reproductibilité des mesures.

Les impulsions sont analysées par un sélecteur multicanal.

2.3.3. Résultats.

Les radioéléments dont le pic photoélectrique apparaît ou peut apparaître , sont essentiellement le potassium 40 et le césium 137. Le premier permet, grâce à un étalonnage approprié, de connaitre la teneur en potassium de l'individu. L'activité du césium 137 est alors exprimée en picoCurie par gramme de potassium.

I - DISPERSSION ATMOSPHERIQUE.

La surveillance est menée à l'échelle mondiale avec une attention plus particulière pour les territoires proches du champ de tir.

Les renseignements obtenus montrent que :

- les niveaux de contamination observés sont très faibles et que seuls des appareillages de mesure sensibles les mettent en évidence.

- les constatations faites en 1966, en ce qui concerne notamment la multiplicité des trajectoires et les phénomènes de dérivation et de diffusion se reproduisent.

I.I. SURVEILLANCE MONDIALE :

I.I.I. Les trajectoires :

L'observation de la circulation hémisphérique des masses d'air met en évidence :

- une circulation générale prédominante d'ouest en est, soumise à des oscillations en latitude,

- une succession des noyaux anticycloniques tropicaux (voir carte N°1).

Le fractionnement d'un nuage radioactif est calqué sur les deux observations précédentes et l'étude des dates d'arrivée de l'activité sur les stations au sol permet de retrouver :

- un nuage principal lié à la circulation générale d'ouest en est,

- des nuages dérivés extraits du nuage principal vers le nord, entre les différents noyaux anticycloniques. Les masses d'air prises ainsi dans les circulations anticycloniques ont toujours un mouvement descendant et peuvent :

- soit provoquer des retours de contamination vers l'ouest,

- soit favoriser des échanges entre les hémisphères sud et nord si des conditions favorables (dépressions, moussons) sont également réalisées sur la face nord de l'équateur.

(Voir figures N° 1 - 2 - 3, les itinéraires des nuages issus des différentes explosions).

.../...

I.1.2. Composantes méridiennes :

L'hémisphère nord n'est pratiquement pas concerné par les retombées troposphériques des explosions françaises du Pacifique (effet de pseudo-barrière dû aux ceintures anticycloniques tropicales mise en évidence sur la carte N°1).

Entre deux noyaux de cette ceinture, les zones de faiblesse favorisent le passage des particules ou aérosols radioactifs qui peuvent ainsi atteindre des régions à l'écart du trajet du nuage principal.

La région nord de l'Amérique du Sud (QUITO, BOGOTA, CAYENNE) et les postes de DOUALA et DJIBOUTI sont ainsi atteints à des niveaux très faibles qui ne dépassent jamais 1 pCi/m3 (Renseignements obtenus par la Coopération avec l'Equateur et la Colombie).

Dans l'hémisphère sud, une zone de 30° de large en latitude est principalement concernée (entre 10° et 40° de latitude sud).

I.1.3. Composantes zonales :

I.1.3.1. Trajet principal :

La première région intéressée est la cote ouest de l'Amérique du Sud, en raison de l'itinéraire ouest-est du nuage principal et de la présence de la Cordillière des Andes (création de turbulences qui permettent aux aérosols venant au contact du sol d'y rester fixés).

Néanmoins, le maximum observé pour un jour dans cette région est resté inférieur à 20 pCi/m3 (Renseignements fournis par la Coopération avec le Chili et le Pérou).

I.1.3.2. Dérivations nord :

Bien avant que le nuage principal ait accompli son premier tour du globe, les îles sous contrôle radiologique néo-zélandais des SAMOA et des FIDJI sont généralement concernées par les dérivations nord. Le niveau maximum atteint dans cette zone est de l'ordre, sur un jour, de 30 pCi/m3 (Renseignements fournis par le Réseau de Surveillance Néo-Zélandais.

.../...

I.2. SURVEILLANCE POLYNESIENNE :

I.2.1. Le réseau polynésien permet la surveillance permanente dans chaque poste :

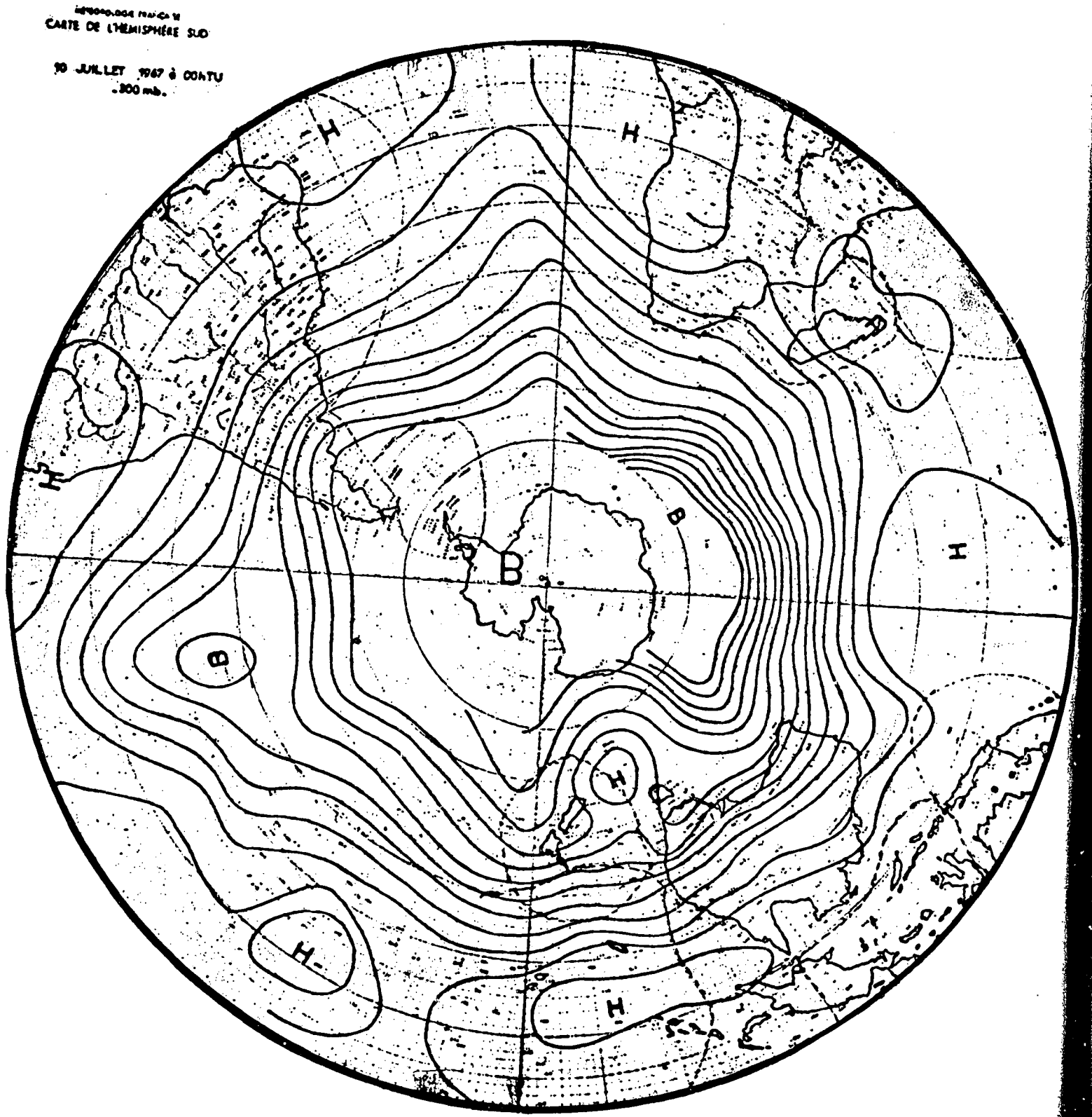
- de la contamination atmosphérique,
- de la contamination de l'eau de mer,
- de la contamination des eaux de pluie,
- du débit de dose de l'air ambiant et du sol.

Des appareils de prélèvements d'air sur filtres permettent de compléter ces informations.

I.2.2. La Polynésie est également concernée par les dérivations nord. La graphique d'activité pour l'île de Tahiti (Fig. N°4) pour la durée de la campagne, fait ressortir :

- la faible contamination de l'air sur des périodes très courtes, inférieure ou égale à 20 pCi/m3,
- l'absence de retombées le même jour qu'un tir :
  - Premier tir le 5 juin, début des retombées le 15 Juin,
  - Second tir le 27 juin, début des retombées observées le 30 juin,
  - Troisième tir le 3 juillet, début des retombées observées le 5 juillet.

ce qui, dans le plus mauvais cas du troisième tir, amène 48 heures après un facteur de réduction de 100 par rapport à l'activité qui serait observé le jour J.


CARTE DE L'HEMISPHERE SUD
30 JUILLET 1967 à 00h TU
300 mb.
H
H
H
B
B
H
H
H
H

Carte N°I

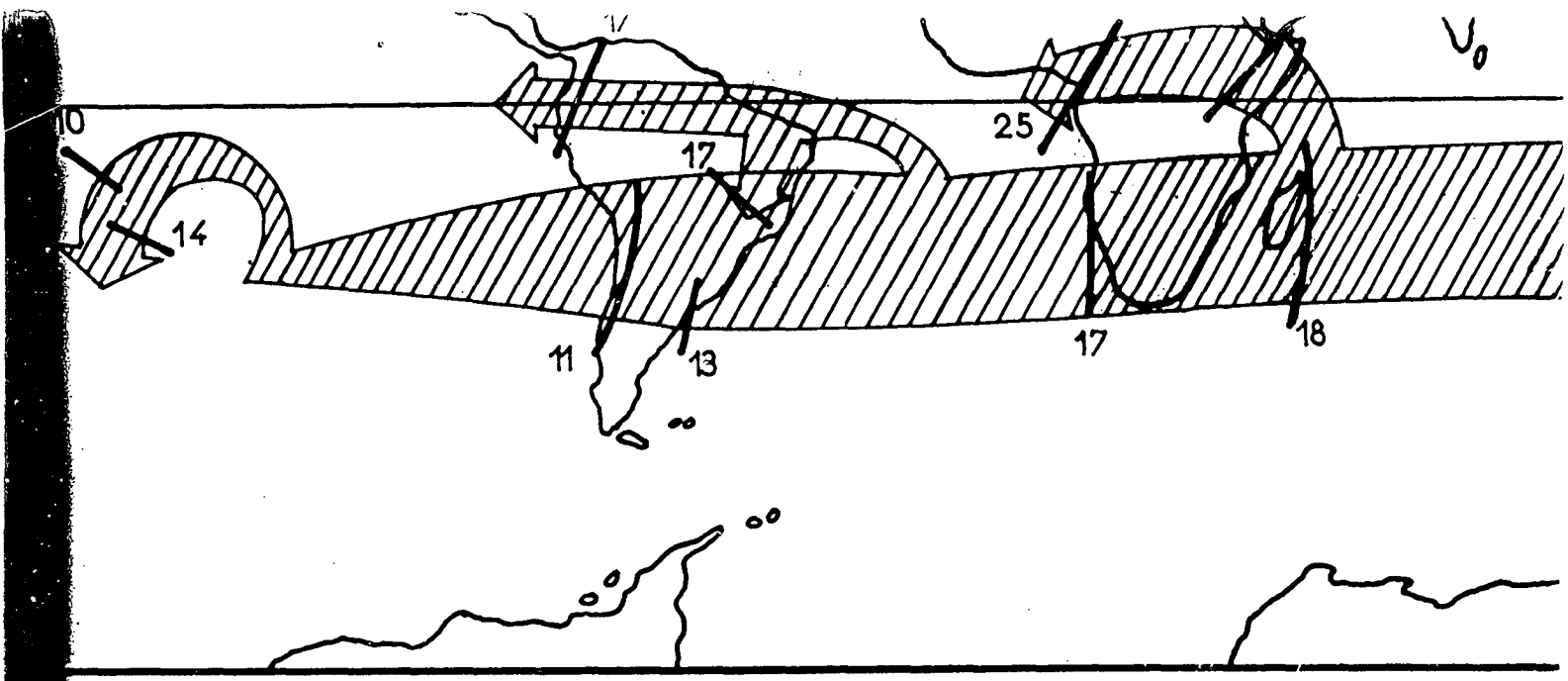


Figure N°1 - Tir ALTAIR - 5 Juin 1967.

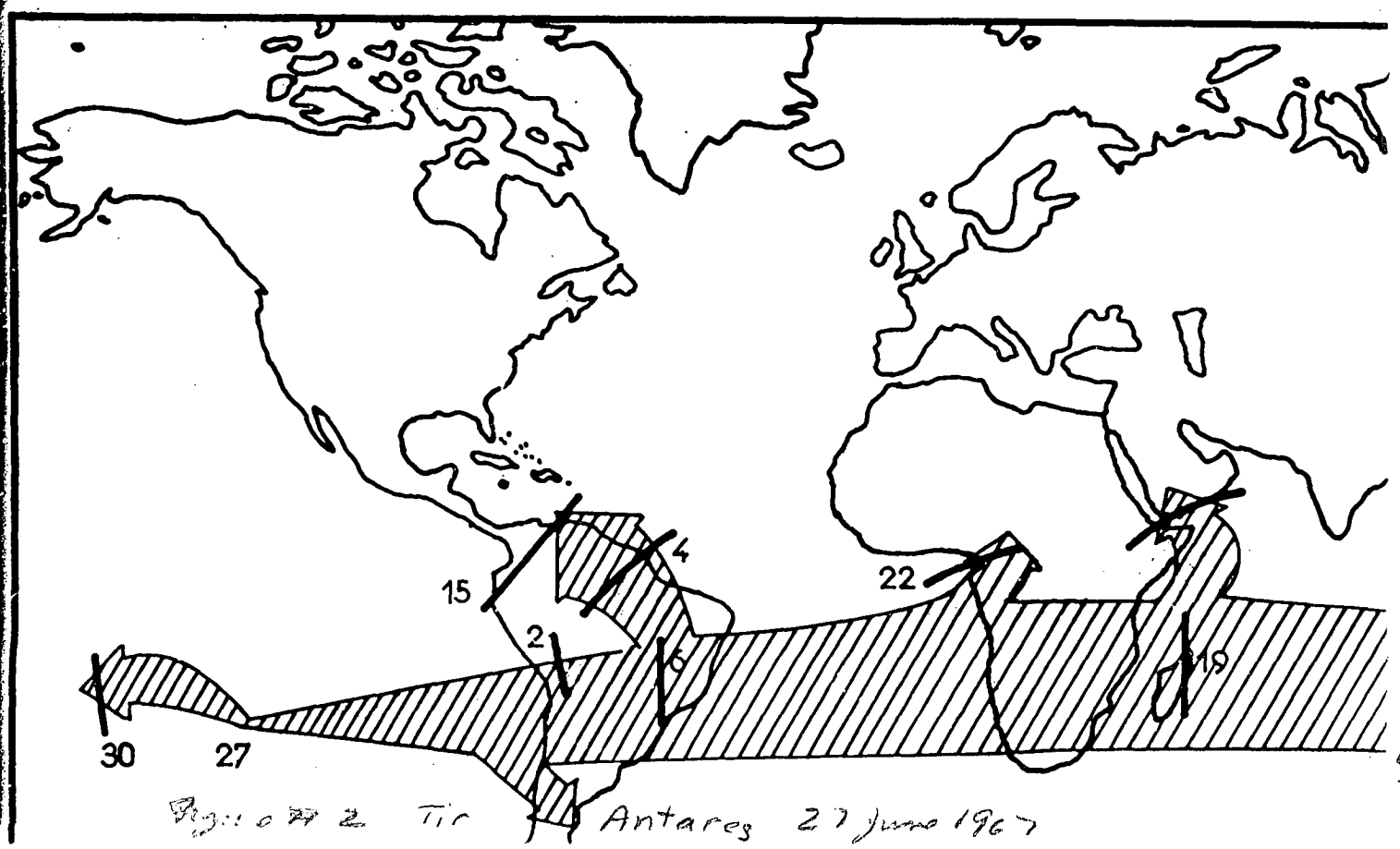


Figure N° 2 Tir Antares 27 June 1967

67-I-8

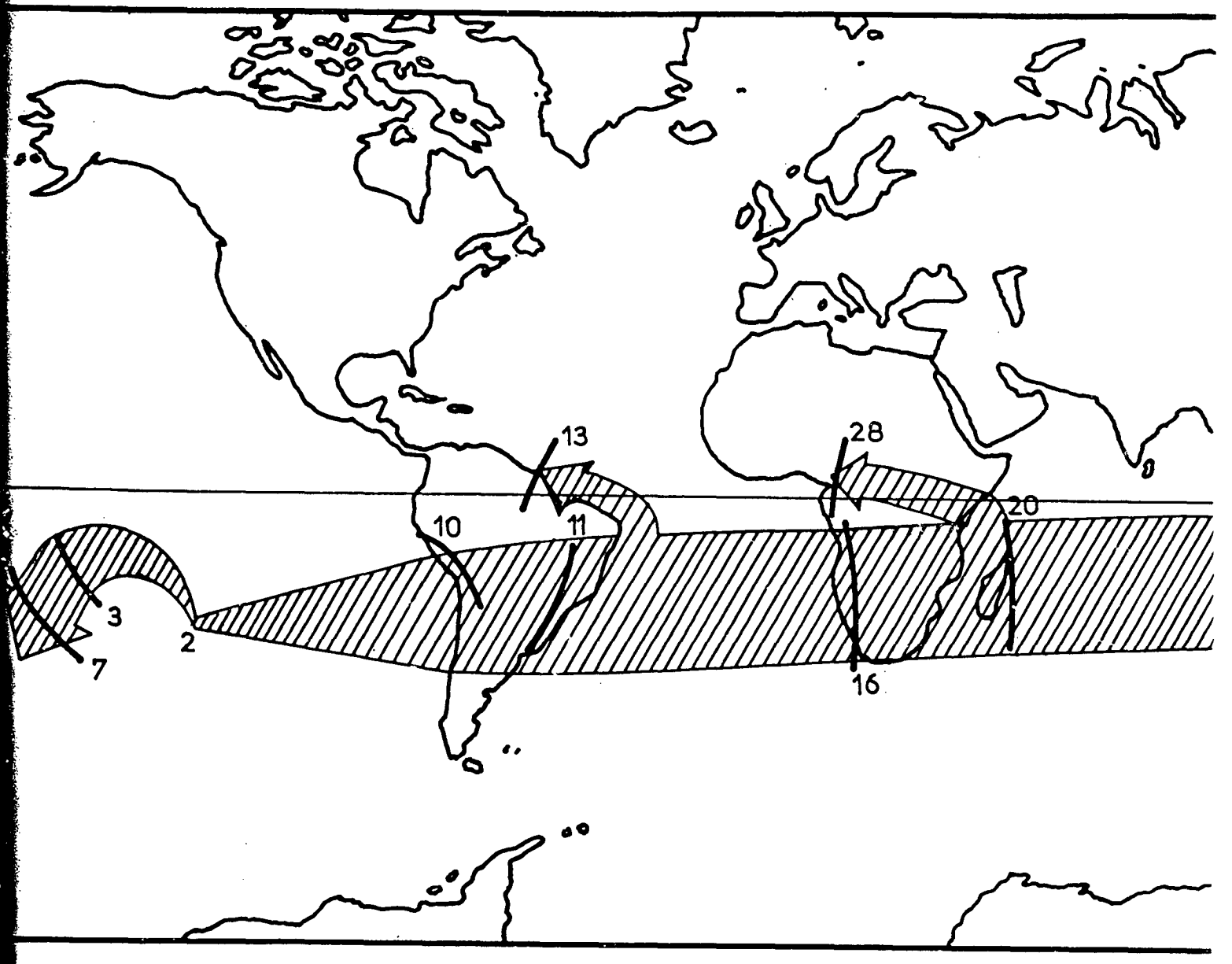
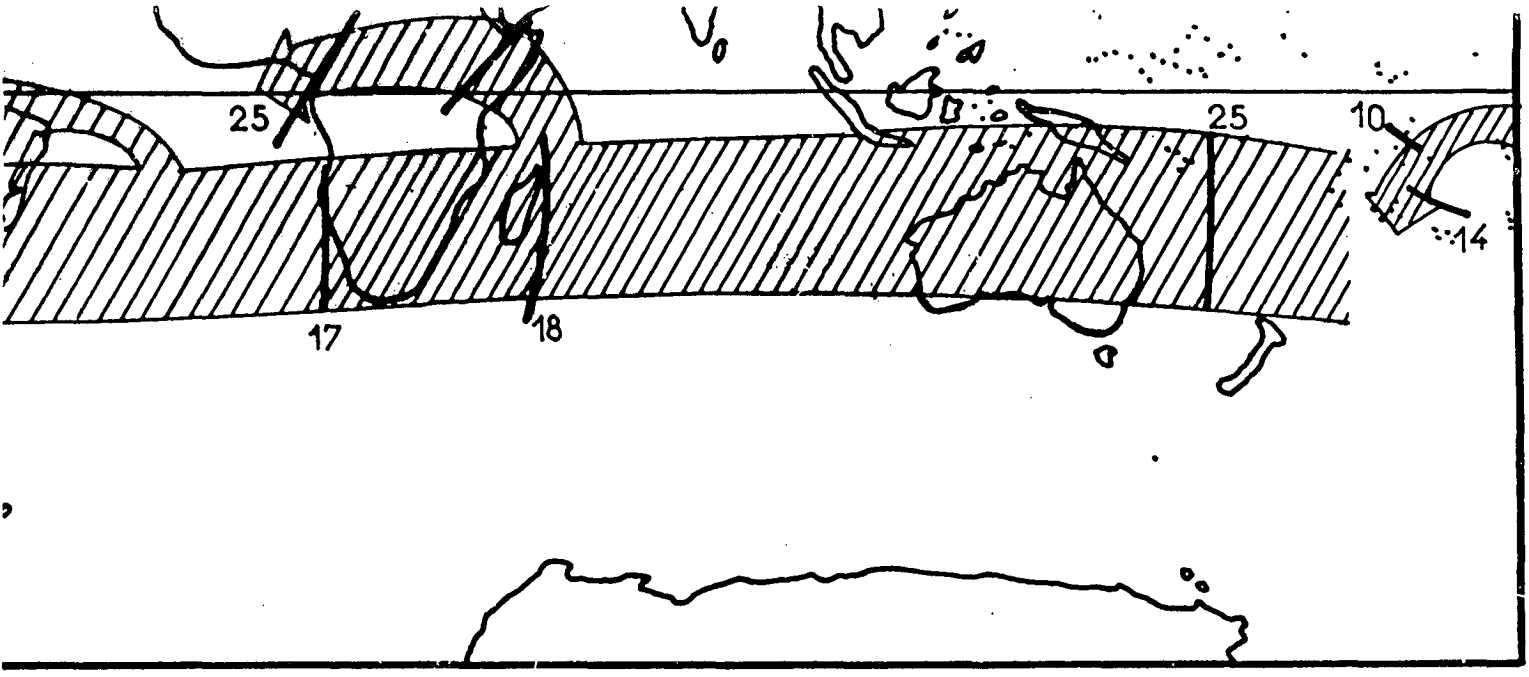


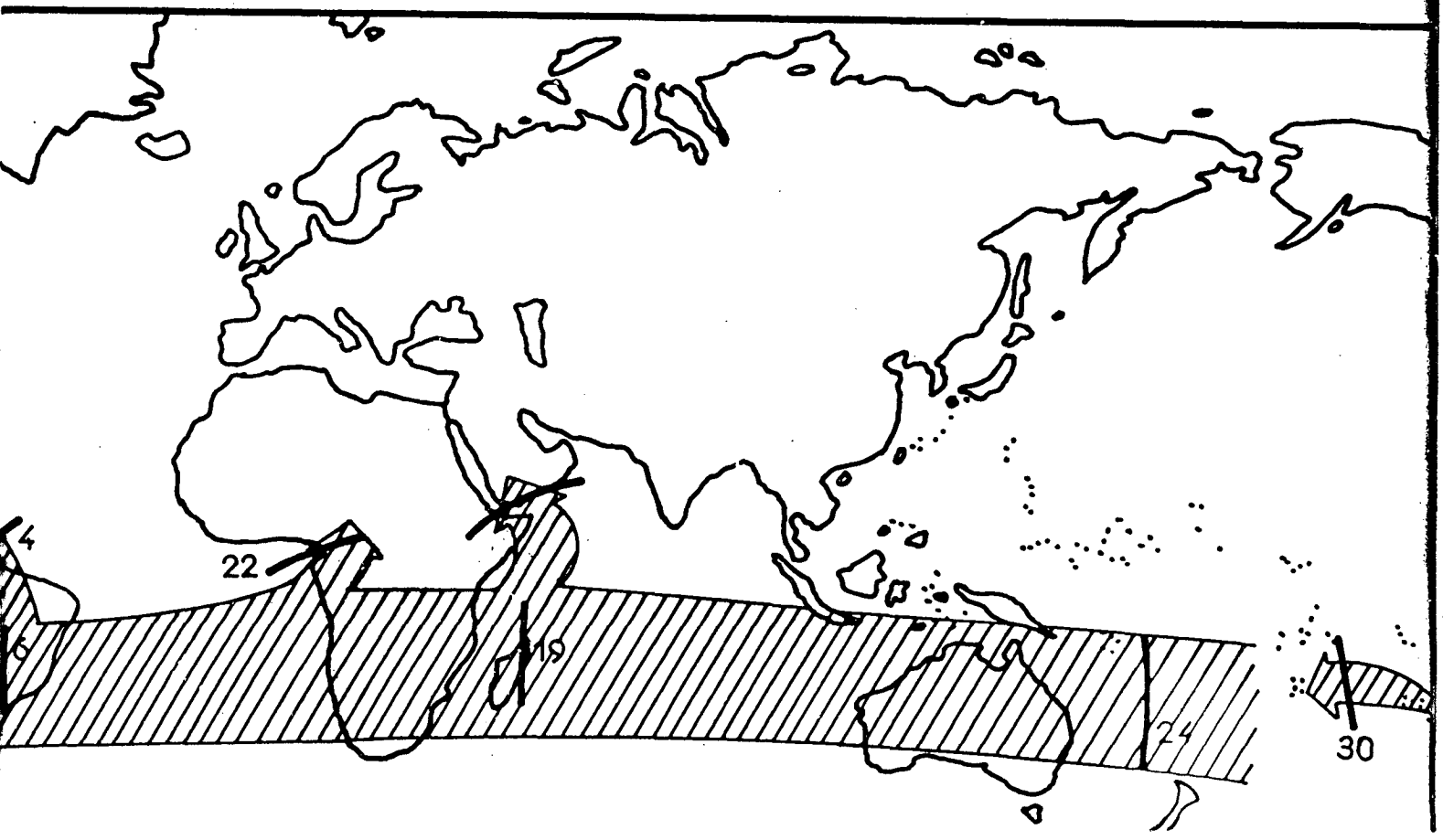
Figure N° 3 - Tir ARCTURUS - 2 Juillet 1967.



Juin 1967.

67-I-5

67-I-6



67-I-7

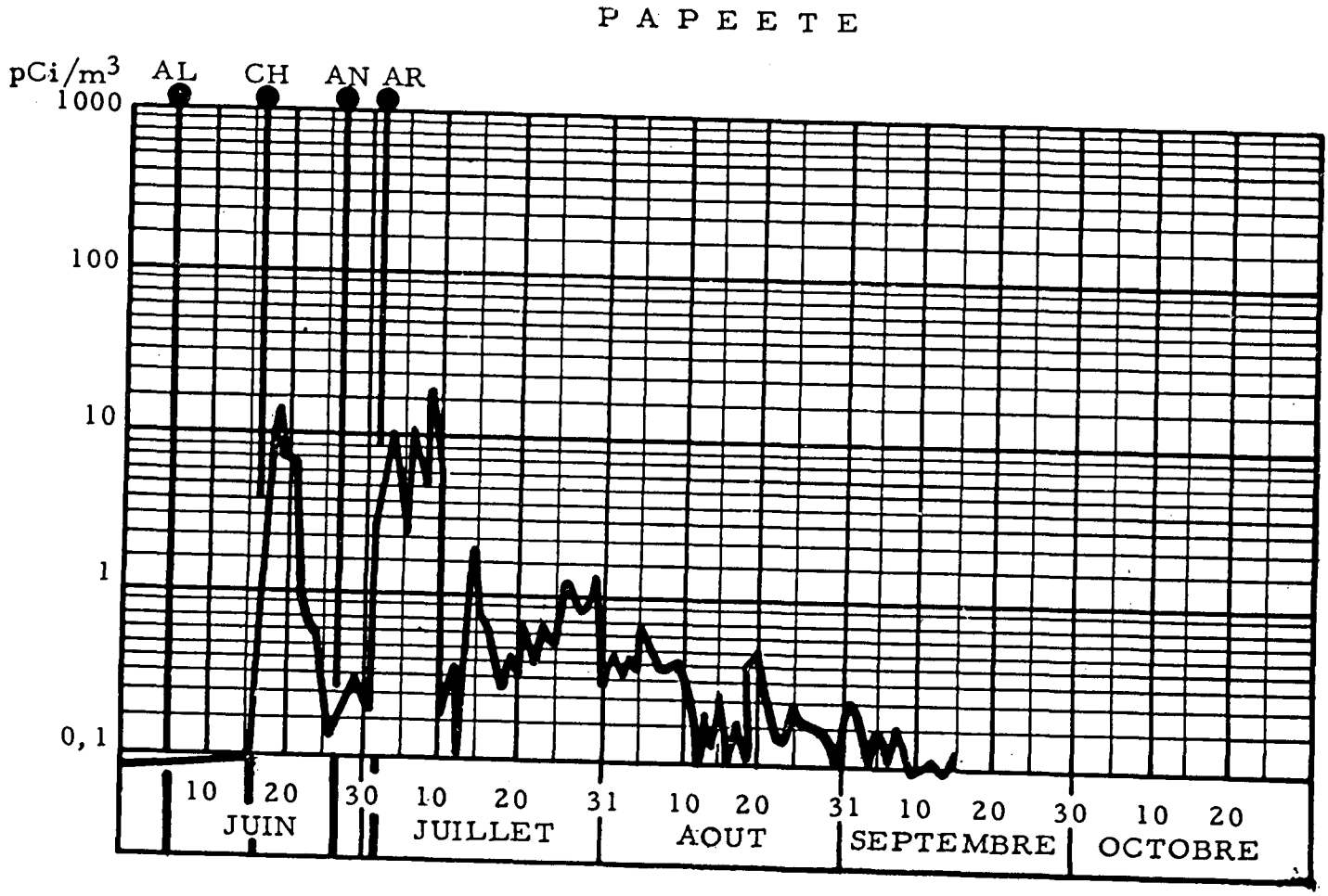

PAPEETE
pCi/m3
AL
CH
AN
AR
1000
100
10
1
0,1
10
20
30
10
20
31
10
20
31
10
20
30
10
20
JUIN
JUILLET
AOUT
SEPTEMBRE
OCTOBRE

Figure N°4

2 - DISPERSION OCEANIQUE

Au cours des années 1967 et 1968, des campagnes d'études océanographiques ont été effectuées dans les eaux polynésiennes.

2.1. MOYENS

Trois navires ont été utilisés pour mener à bien ces campagnes, à savoir :

1° Bâtiment de Recherches Océanographiques "LA COQUILLE";
2° Dragueurs Océaniques : "LA PAIMPOLAISE" et "LA BAYONNAISE".

2.2. ITINERAIRE

D'octobre 1966 à mai 1967, six missions ont permis d'étudier les eaux océaniques des :

- Iles du Vent
- Iles Sous-le-Vent
- Archipels des Marquises et des Tuamotu-Gambier (cf. carte N°2) .

Après la campagne 1967, et jusqu'à juin 1968, dix autres missions ont été réalisées, dans ces mêmes zones et celles des Iles Australes de la Polynésie (cf. cartes N°3) .

2.3. BUT DES MISSIONS

Ces recherches portaient sur :

- l'hydrologie
- la courantométrie
- la bathythermographie, contribuant ainsi à approfondir les informations hydrographiques de cette région.

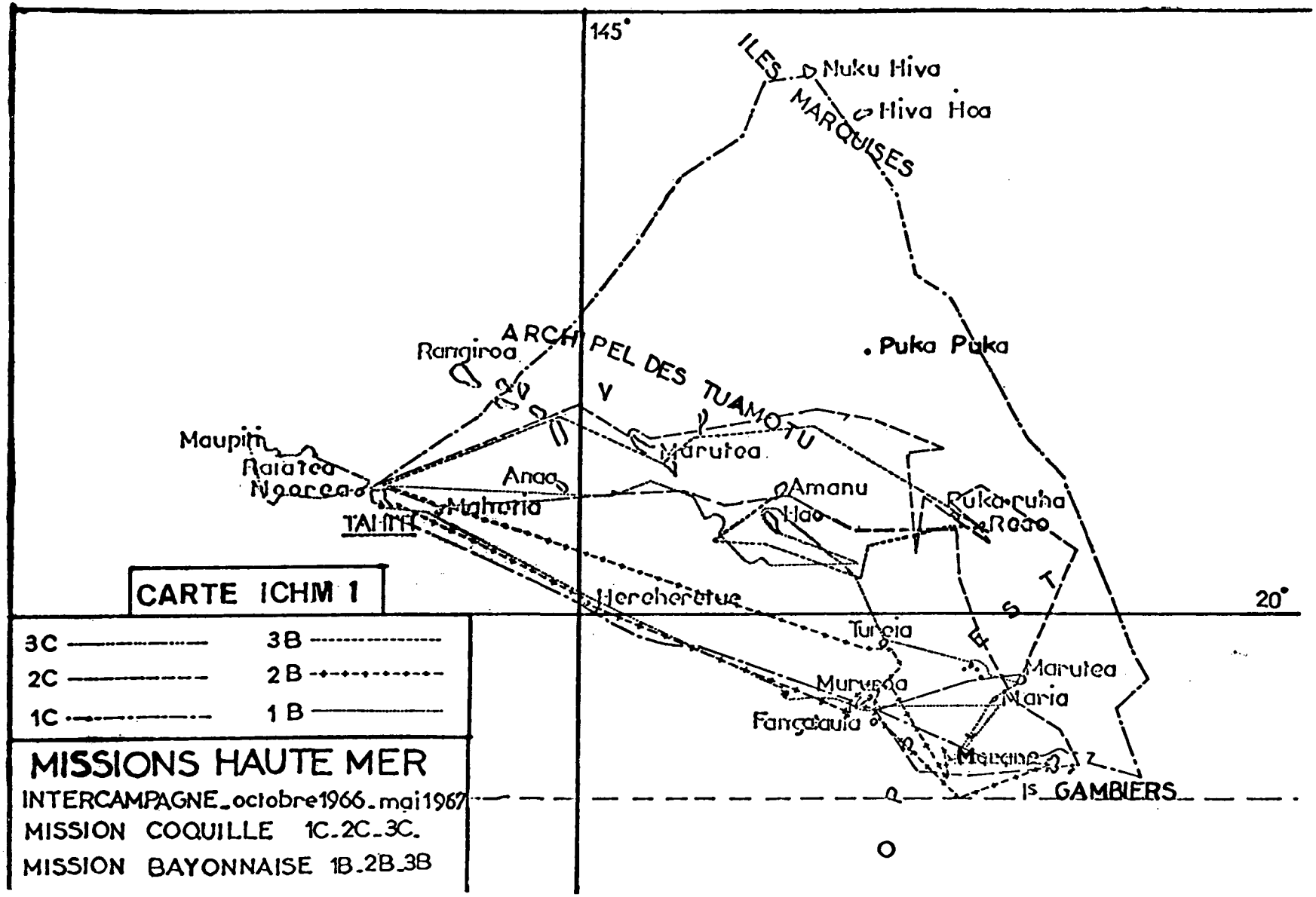
Sur le plan biologique, des récoltes de plancton, des pêches de surface (traîne) et de profondeur (longue-ligne) ont été poursuivies.

2.4. BILAN

1° Le mouvement circulaire, dans le sens trigonométrique, des masses d'eau océaniques de 0 à 1 000 m, axé sur un point localisé au Sud de TUREIA, dans les TUAMOTU EST, a été confirmé. Le déplacement est lent, 0,5 à 1 noeud et la diffusion à l'extérieur de cette zone est négligeable.

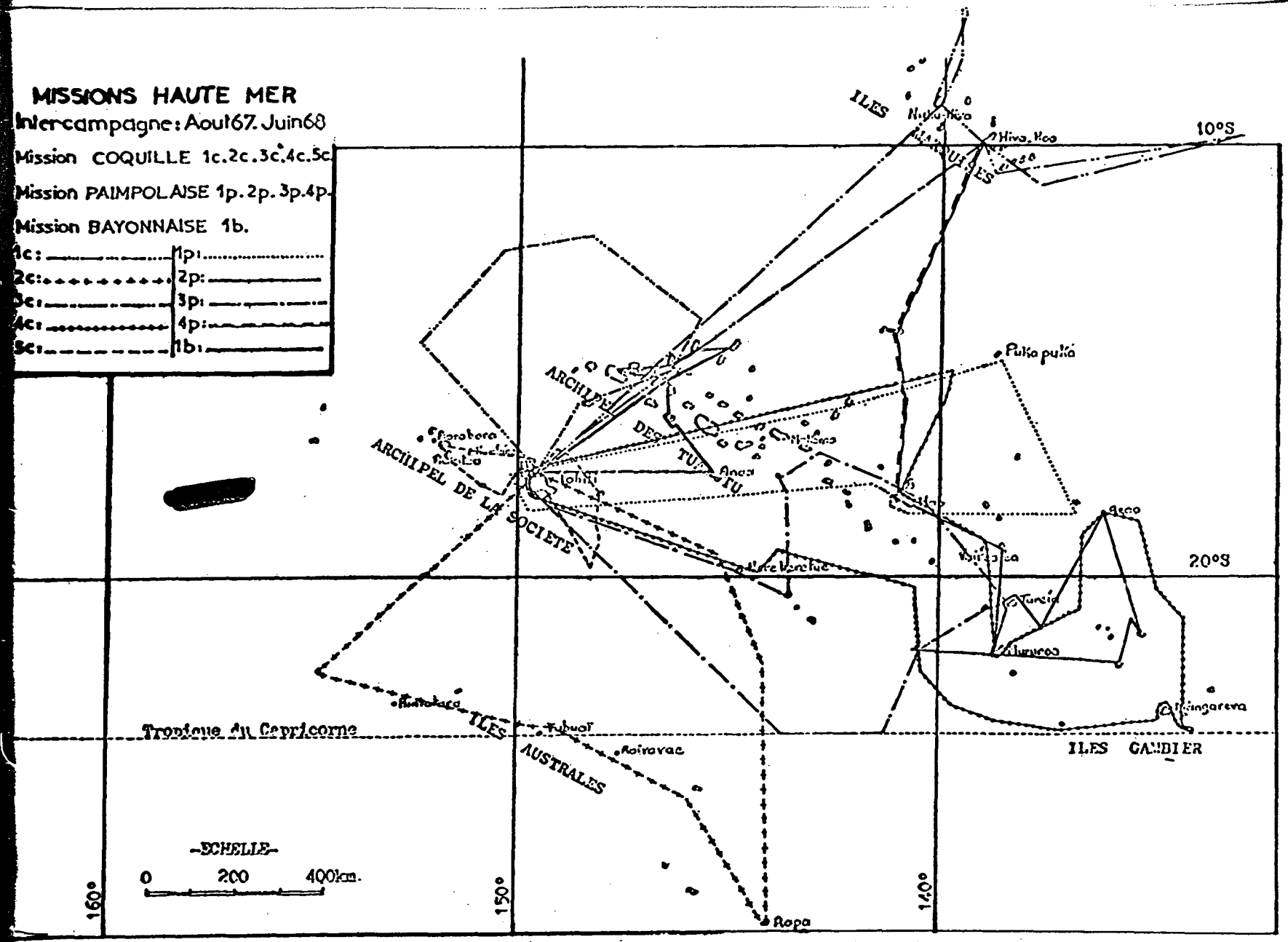
2° Les études du plancton ont été menées dans le même sens et avec les mêmes méthodes que celles rapportées dans le Rapport 1966. Les analyses d'activité des différents échantillons ont montré une diffusion du plancton contaminé par les retombées locales et régionales de la Campagne 1967, conforme aux prévisions faites avant les campagnes de tir (cf. rapport 1966).

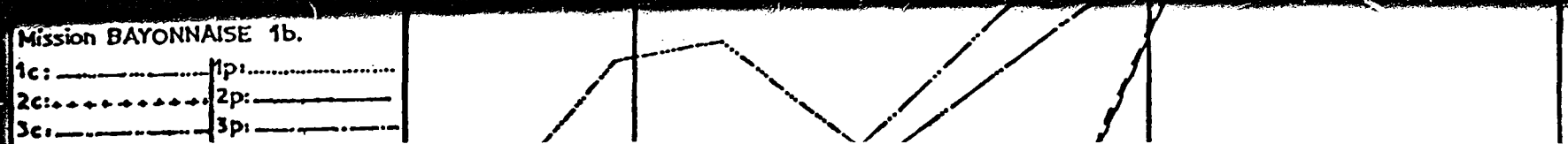
3° La surveillance des espèces hauturières et des poissons de traîne auprès des îles et des atolls, a montré que les zones de pêche internationales étaient pratiquement indemnes de toute contamination autre que celle attribuable aux retombées mondiales.

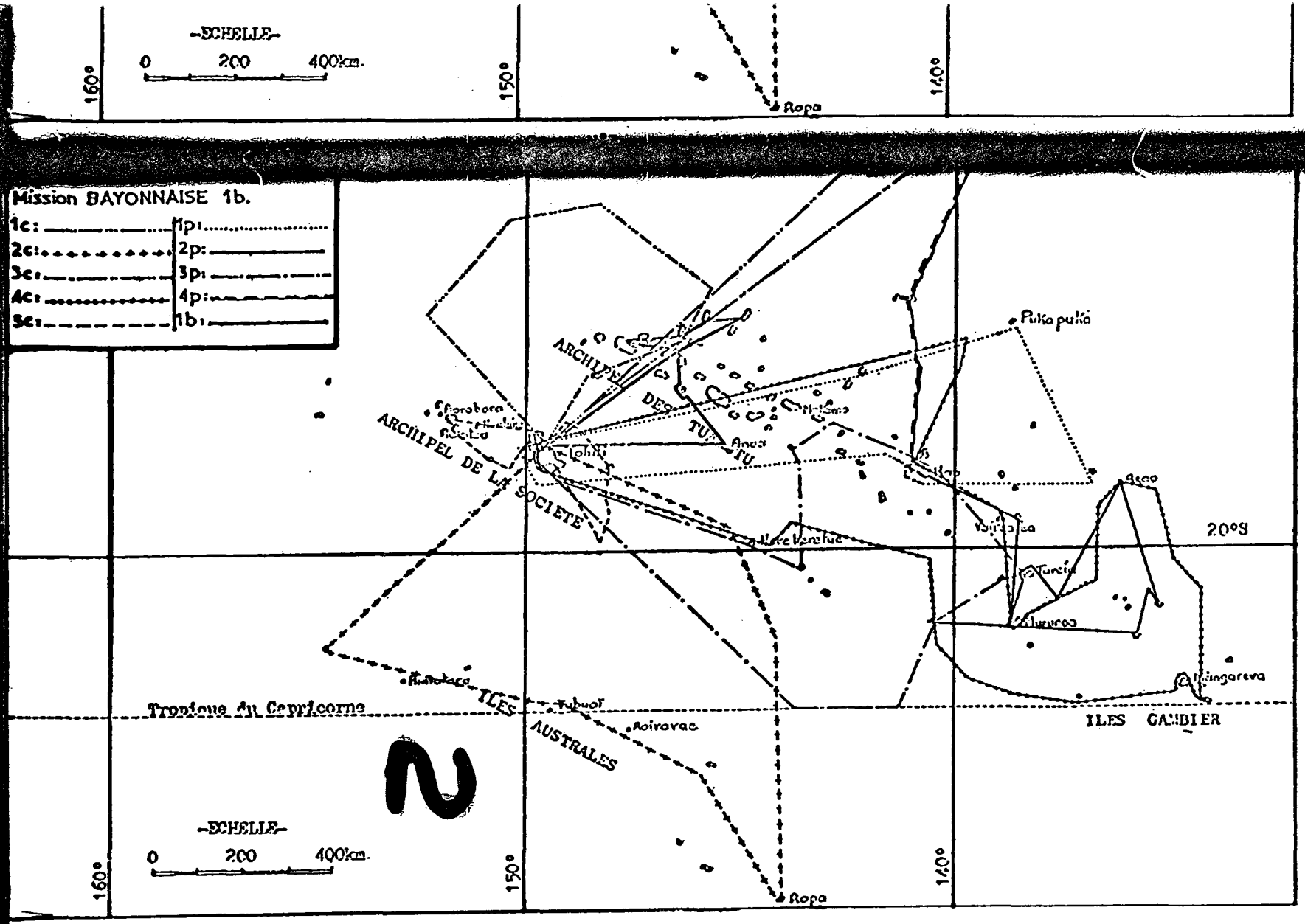


Carte N°2

67-I-12


MISSIONS HAUTE MER
Intercampagne: Aout67. Juin68
Mission COQUILLE 1c.2c.3c.4c.5c.
Mission PAIMPOLAISE 1p.2p.3p.4p.
Mission BAYONNAISE 1b.
1c:
1p:
2c:
2p:
3c:
3p:
4c:
4p:
5c:
1b:
ILES
10°S
Pukapuka
ARCHIPEL DES TUAMOTU
ARCHIPEL DE LA SOCIETE
Tahiti
Moorea
Raiatea
Bora-Bora
Maupiti
Mopelia
Anaa
Hikueru
Rangiroa
Tikehau
Manihi
Ahe
Takaroa
Takapoto
Arutua
Kaitaia
Fakarava
Makemo
Hao
Tuanake
Marutea
Nukutavake
Vahitahi
Tekokota
Reao
Pinaki
Pukarua
Pukaruha
Tureia
Mururoa
Gambier
Mangareva
20°S
Tropique du Capricorne
ILES AUSTRALES
Tubuai
Raivavae
ILES GAMBIER
Ropa
-ECHELLE-
0
200
400km.
160°
150°
140°
67-I-13


Mission BAYONNAISE 1b.
1c:
1p:
2c:
2p:
3c:
3p:



Carte N°3

67-I-13

3 - CHAINE ALIMENTAIRE

Ce sujet a été développé assez longuement dans le rapport relatif à la campagne de tirs 1966. Nous nous contenterons ici d'en résumer les principes essentiels.

Les mesures relatives aux échantillons de produits alimentaires qui sont présentées en annexe A 67 se sont attachées à la recherche:

1) d'une part de la pollution par des éléments à vie courte ou moyenne caractérisant un mélange de produits de fission d'origine récente.

2) d'autre part de la pollution par des éléments à vie longue dont les variations seraient susceptibles d'indiquer des conséquences à plus long terme de nos expériences nucléaires.

La pollution à court terme étant liée généralement aux mécanismes de pollution directe par retombées, elle se manifestera tout particulièrement au niveau du lait par l'iode 131 déposé sur les paturages et au niveau des produits végétaux dont les parties aériennes consommées par l'Homme recueillent le mélange des produits de fission.

La pollution à long terme s'exerce par contre essentiellement en raison de l'accumulation du dépôt au sol : c'est donc une pollution de type indirect que l'on retrouve dans les divers groupes de produits constituant l'alimentation humaine. Le strontium 90 en est l'élément principal, le lait, les céréales et les divers légumes et fruits en étant les vecteurs.

Ces principes ont donc guidé le choix des échantillons sur lesquels il paraissait souhaitable de faire porter la surveillance.

Dans le cas particulier de la Polynésie il a de plus été tenu compte de la composition du régime alimentaire. En fonction des habitudes un régime propre à chaque atoll a été établi, permettant de déterminer parmi les aliments d'origine locale, les plus significatifs pour assurer une surveillance efficace et réaliste de l'alimentation des populations. Vingt cinq points de prélèvements ont été retenus. En chaque point dix à douze denrées ont été soumises à l'analyse quatre fois par an. En certains points, un rythme plus fréquent a été établi. Les données présentées en annexe A 67 concernent un certain nombre de points groupés en quatre zones (Iles de la Société, Tuamotu Ouest, Marquises et Australes). Les données sont valables pour les différents points surveillés dans chaque zone.

Examen sommaire des résultats

Les résultats des mesures effectués sur les échantillons prélevés en 1967 montrent que la pollution directe par retombées (caractérisée par les radio-éléments à vie courte ou moyenne) a été très faible, souvent au seuil de la détection, et limitée pratiquement à la ceinture de l'Océan Pacifique.

En ce qui concerne la pollution à long terme (90Sr), elle peut apparaitre de l'évolution constatée sur les moyennes annuelles concernant la pollution du lait par le radio-élément et présentées ci-dessous :

	1966 pCi/litre	1967 pCi/litre
FRANCE	17,0	17,6
ALGERIE	11,2	10,0
SENEGAL	12,3	9,3
SOMALIE Fse	6,6	4,9
COLOMBIE	2,0	1,7
GUYANE	12,7	17,0
EQUATEUR	5,0	1,5
PEROU	1,8	1,3
CHILI	2,3	1,7
TAHITI	5,5	3,5
Nelle CALEDONIE	3,0	2,4
MADAGASCAR	2,2	1,9

Il apparait que l'évolution générale, pour autant qu'elle puisse -t- être considérée comme significative parait due à une diminution des niveaux observés : cette pollution se rapportant vraisemblablement à des essais nucléaires anciens, cette tendance se justifie parfaitement.

Cas des régimes alimentaires

Point n'est besoin de reprendre les valeurs indiquées dans le rapport 1966, celles ci étant extrapolées des mesures de 90Sr dans le lait.

Les conclusions antérieures restent valables à savoir que les niveaux, inférieurs en 1967 par rapport à 1966, restent plus élevés dans l'hémisphère Nord que dans l'hémisphère Sud.

4 - CONTAMINATION HUMAINE

Nous ne ferons que reprendre ici les indications données à ce sujet dans le rapport relatif à la campagne de tirs 1966.

La surveillance directe de la contamination humaine par des radio-éléments émetteurs d'un rayonnement γ (^{137}Cs et ^{131}I particulièrement) consécutive à l'inhalation et surtout à l'ingestion de ceux-ci est une méthode difficile à mettre en oeuvre et de ce fait réservées à ceux des groupes d'individus que l'on pourrait penser être les plus exposés.

Des mesures ont continué à être effectuées durant l'année 1967 pour les polulations polynésiennes : les résultats présentés au chapitre II confirment les observations faites au niveau de la chaine alimentaire.

I. RESULTATS DES MESURES

I.I. Généralités

Tout comme en 1966, quoiqu'à un degré bien moindre, les stations de l'Hémisphère Sud et quelques stations de l'Hémisphère Nord situées au voisinage de l'Equateur (Quito, Bogota, Cayenne, Djibouti) ont montré une augmentation de la contamination (air, lait, végétaux...) en relation avec la campagne d'essais nucléaires dans le Pacifique en 1967.

Il faut noter que la comparaison directe des niveaux observés après les tirs, à ceux existant en Mai n'a pas de signification , la contamination étant due dans un cas à des produits de fission frais et, dans l'autre, à des produits de fission beaucoup plus anciens.

1.2. Contamination atmosphérique

Dans son aspect le plus général, la contamination après chaque tir évolue sous forme d'un pic suivi de poussées moins élevées mais plus étalées. Ce schéma vrai pour le Pérou, le Chili et la Polynésie devient beaucoup plus flou à mesure que l'on s'éloigne vers l'Est à partir de la Côte Pacifique de l'Amérique du Sud, vers l'Ouest à partir de Tahiti.

En quelques mois, on revient toujours aux niveaux d'activité existant avant le début des essais en Polynésie.

Les valeurs les plus élevées pour les mesures journalières ont été observées en Polynésie où l'on a noté une valeur de 26 pCi/m3 à Papeete ; ailleurs les valeurs n'ont jamais dépassé 16 pCi/m3 (Lima). Les moyennes décadaires les plus fortes ont été relevées dans les mêmes stations, 7,5 pCi/m3 à Papeete, 7,2 pCi/m3 à Lima, ailleurs les moyennes décadaires ont été toujours inférieures à 1 pCi/m3.

On peut se faire une idée grossière de l'importance de la contamination atmosphérique globale consécutive aux essais, par intégration des résultats journaliers de Juillet à Décembre.(x).

Les régions où l'influence des tirs s'est fait le plus sentir sont Tahiti (160 pCi/m3), les deux pays d'Amérique au sud de l'Equateur (de l'ordre de 113 pCi/m3 à Lima et 76 pCi/m3 à Santiago) enfin les territoires ou bases françaises de l'hémisphère sud (40 pCi.J/m3 à Nouméa). Partout ailleurs on note des valeurs inférieures à 10 pCi.J/m3 sauf pour Cayenne (21 pCi.J/m3) , Douala (18 pCi.J/m3) et Quito (12 pCi.J/m3).

1.3. Contamination du lait

Etant donné qu'on a affaire à des produits de fission récents, la contamination du lait est due essentiellement à l'iode 131.

(x): Ce qui donne une valeur en (pCi multipliés par jours) / m3

.../...

1.3.1. Iode 131.

Les valeurs maximales sont atteintes en deux ou trois jours après le passage du nuage radioactif. La décroissance se fait après chaque apport avec une période de l'ordre de cinq jours.

Les valeurs les plus élevées ont été observées à Lima (200 pCi/l le 10 Août) à Madagascar (115 pCi/l le 27 Juillet) : partout ailleurs lorsqu'une contamination par l'iode a été détectée elle n'a pas dépassé 30 pCi/l.

1.3.2. Strontium 90 et Césium 137

En dehors de quelques fluctuations attribuables, semble-t'il aux variations saisonnières et à l'échantillonage, on n'a pas observé de modification significative de la concentration du Césium 137 et du Sr 90 dans le lait.

1.4. Contamination des végétaux

De très nombreux prélèvements de nature variée ont été analysés ; ils ne permettent pas toujours de suivre pour une même station et un même aliment l'évolution de la contamination.

Dans l'ensemble cependant, seules les espèces pouvant être contaminées par voie directe (dépôt sur les parties aériennes) ont montré une contamination par des produits frais.

On a donc considéré comme représentative la contamination des salades. L'activité des échantillons les plus contaminés était de l'ordre du millier de pCi par Kg.

1.5. Contamination de la faune marine

Tant en provenance du large que des lagons, des échantillons de poissons et de coquillages ont été analysés en 1967 dans les iles de la Société, l'archipel des Tuamotu, les iles Marquises et les iles Australes.

L'activité totale de ces échantillons, après déduction de l'activité du Potassium 40, a toujours été très faible et a montré tout au long de l'année une tendance à la baisse. En moyenne, cette activité s'est maintenue quand elle était décelable entre 100 et 900 pCi/kg.

Les radioéléments, le plus souvent identifiés, ont été le Césium 137 et surtout le Zinc 65.

1.6. Examen d'individus de la population par spectrométrie gamma.

A l'issue de la campagne de tir, 176 individus dont 25 femmes, résidant en Polynésie ont été contrôlés.

Les valeurs moyennes observées ont été de :

30 pCi $^{137}Cs/g$ de potassium pour les hommes,

26 pCi $^{137}Cs/g$ de potassium pour les femmes.

Bien que la dispersion des valeurs soit relativement élevée, en raison du faible niveau mesuré, il semble que la tendance à une diminution se manifeste.

Par ailleurs, une analyse statistique portant sur l'ensemble des résultats a montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre les individus originaires des Iles de la Société, des Iles Marquise, des Tubuaï et des Tuamotu.

.2. EVALUATION DE L'ORDRE DE GRANDEUR DE L'IRRADIATION DES POPULATIONS.

2.1. Irradiation de la thyroïde

.2.1.1. Nourrisson : Pour les nourrissons la dose à la thyroïde est la somme de la dose due à l'inhalation et de la dose due à la consommation du lait.

a) Les doses dues à l'inhalation sont de l'ordre de 0,6 millirem à Papeete, de l'ordre de 0,2 à 0,4 millirem pour les stations de l'Hémisphère Sud les plus proches du champ de tir (Santiago et Lima) de l'ordre de 0,1 pour les autres stations de l'Hémisphère Sud (Diego-Suarez, Nouméa...), inférieures à 0,1 millirem pour les stations de l'Amérique du Sud situées dans l'Hémisphère Nord (Quito, Bogota, Cayenne).

b) Les doses dues à la consommation du lait ont été évaluées pour six stations à partir des valeurs de concentration intégrées : Papeete (55 millirems), Lima (23 millirems), Diego-Suarez (22 millirems), Santiago (9 millirems), Bogota et Nouméa (5 millirems).

1.2.1.2. Enfant : La dose à la thyroïde provient de l'inhalation, de la consommation de lait et de la consommation de légumes verts.

a) La dose due à l'inhalation est de l'ordre de 0,5 millirem à Papeete, 0,3 millirem à Lima, 0,2 millirem à Santiago et 0,1 millirem à Diego-Suarez, inférieure à 0,1 millirem dans toutes les autres stations.

b) La dose due à la consommation de lait est de l'ordre de 25 millirems à Papeete, 10 millirems à Lima, 9 millirems à Diégo-Suarez, 4 millirems à Santiago, 2 millirems à Bogota et Nouméa, inférieure au millirem dans les autres stations.

c) Comme en général les prélèvements de légumes verts n'étaient pas assez fréquents pour suivre l'évolution de leur contamination on a admis que cette évolution était analogue à celle du lait.

La dose due à la consommation de légumes verts est de l'ordre de 0,7 millirems à Papeete, de l'ordre de 0,3 millirems à Lima et Diégo-Suarez, de l'ordre 0,1 millirem à Santiago et partout ailleurs inférieure à cette dernière valeur.

.../...

Dans le cas où il n'était pas possible d'évaluer l'évolution de la contamination des légumes à partir des résultats d'analyse du lait on a calculé la dose qui aurait été délivrée dans l'hypothèse où la contamination des légumes se serait maintenue pendant les six mois à la valeur la plus élevée observée au cours de cette période. Cette méthode conduit aux valeurs suivantes : 9 millirems à Djibouti, 5 millirems à Dakar, 3 millirems à Cayenne. Elle surestime très largement les doses, c'est ainsi qu'elle conduirait à 5 millirems à Santiago (au lieu de 0,1 millirem) et à 2 millirems à Papeete (au lieu de 0,7 millirem).

.2.1.3. Adultes : La dose à la thyroïde provient de l'inhalation, de la consommation de lait et de la consommation des légumes verts.

a) La dose due à l'inhalation est de l'ordre de 0,4 millirem à Papeete, de l'ordre de 0,3 millirem à Lima, de l'ordre de 0,1 millirem à Santiago, inférieure à 0,1 millirem dans toutes les autres stations.

b) La dose due à la consommation du lait est de l'ordre de 9 millirems à Papeete, 4 millirems à Lima et Diégo-Suarez, 2 millirems à Santiago inférieure à 1 millirem partout ailleurs.

c) La dose due à la consommation des salades est partout inférieure au millirem si on utilise la comparaison avec le risque que comporte la consommation de lait. Une dose de l'ordre de 3 millirems a été calculée pour Djibouti en faisant l'hypothèse que la plus forte contamination trouvée sur la salade s'était maintenue 6 mois, ce qui laisse à penser que la dose réelle est inférieure au millirem puisque par ce mode de calcul on trouve 2 millirems pour Santiago.

.2.2. Irradiation de l'appareil respiratoire

Ce calcul a été effectué pour le nourrisson, l'enfant et l'adulte et comme on pouvait s'y attendre, en aucune station cette dose au poumon n'a atteint 1 millirem. La valeur le plus forte est enregistrée à Papeete pour le nourrisson (0,5 millirem).

.2.3. Conclusions :

Comme on pouvait s'y attendre, c'est l'irradiation de la thyroïde du nourrisson qui est le problème essentiel dans l'étude des risques, consécutifs aux retombées nucléaires troposphériques, en raison d'une part, de la relative abondance des produits à vie courte comme l'iode dans ce type de retombée, en raison de la forte consommation du vecteur lait par le nourrisson, enfin en raison de la faible masse de la thyroïde de ce dernier.

Encore faut-il tenir compte du fait qu'à Tahiti la dose évaluée à partir de l'iode I3I dans le lait ne peut s'appliquer qu'à une fraction infime de la population, la production locale de lait ne représentant qu'une très petite partie de la consommation, laquelle est à base de produits importés.

Il faut remarquer que ces doses sont inférieures d'un facteur 3 à 7 à celles enregistrées au cours de la campagne I966. Les facteurs principaux qui ont contribué à cette sensible diminution des retombées mondiales sont :

- le développement de la technique des tirs sous ballon,
- le petit nombre d'essais effectués en I967,
- les faibles puissances mises en oeuvre.

CHAPITRE I

LES PROCESSUS DE DISPERSION DE LA RADIOACTIVITE

Ce chapitre reprend point par point les différentes étapes développées dans la 1ère partie (67 -I- 1 à 67 -I- 16) à savoir :

- la dispersion atmosphérique
- la dispersion océanique
- la chaine alimentaire
- la contamination humaine.

Un certain nombre d'informations relatives à la période qui a fait suite à la campagne de tirs ne sont pas encore disponibles : elles pourraient être complétées ultérieurement.

I - DISPERSION ATMOSPHERIQUE

Le mode de tir (tir sous ballon), la prévision de la contamination résultante dans l'espace et dans le temps, la surveillance permanente des retombées et des niveaux atteints sont les trois étapes qui rendent le mieux compte de l'effort français dans le domaine de la sécurité des expérimentations nucléaires.

Le mode de tir sous ballon a été, jusqu'à présent, peu utilisé à l'étranger. L'engin est placé à une altitude telle qu'il n'y ait pas, ou peu, d'interférences entre la surface terrestre et la boule de feu. Si les techniques actuelles permettent de réaliser cette condition, les moyens à mettre en oeuvre entrainent des contraintes supplémentaires dans la préparation de l'expérimentation. Ce mode de tir libère dans l'atmosphère des particules radioactives "flottantes" (1). Il écarte le danger de retombées importantes, constituées de grosses particules, au voisinage du site et par là renforce la sécurité des populations riveraines. Dans le cas de tirs mégatonniques, le nuage radioactif est alors placé dans la stratosphère et ne donne pratiquement pas de retombées locales.

La prévision de la contamination résultante d'un tir nécessite :

- une connaissance approfondie de l'atmosphère qui va déterminer la dispersion de la radioactivité,
- une bonne connaissance du "champignon" radioactif initial.

Un ensemble de calcul centré sur un ordinateur est nécessaire pour dépouiller puis intégrer les éléments constitutifs du nuage initial et les informations météorologiques.

La surveillance permanente des retombées permet de suivre les niveaux d'activité et, le cas échéant, de prendre les mesures de protection utiles.

Ce document a pour objet essentiel de présenter les moyens prévisionnels mis en oeuvre, et les résultats collectés par le réseau de surveillance.

---

(1) C'est-à-dire suffisamment fines pour rester en suspension.

I.I. LES MOYENS PREVISIONNELS FRANCAIS

1.1.1. Les données météorologiques

Elles sont acquises grâce à l'implantation d'un important réseau de stations météorologiques dans la zone des sites de tir qui comprend :

- 15 stations au sol,
- 5 stations sur navire.

Il est complété par :

- des missions aériennes météorologiques qui permettent de vérifier et d'accroitre les informations des postes de surface. La fréquence des vols augmente au fur et à mesure que la date de tir approche.

- l'écoute des satellites météorologiques par une station spécialisée.

Dans toute la zone sont pratiqués simultanément des sondages de vent jusqu'à 30 000 mètres en altitude, définissant le vent du moment. Les sondages sont renouvelés aussi souvent que nécessaire, jusqu'au maximum d'un toute les trois heures, pour suivre l'évolution des conditions atmosphériques dans le temps.

1.1.2. Connaissance du nuage radioactif initial :

Au cours des campagnes précédentes, de nombreuses mesures de ses dimensions et de son contenu radioactif ont été exécutées. Ces renseignements sont complétés, dans la mesure du possible, par l'exploitation de la documentation étrangère.

Cet ensemble de connaissance permet de disposer d'un modèle de nuage adapté au tir sous ballon caractérisé par :

- une activité libérée proportionnelle à la puissance de fission et localisée en quasi totalité dans la tête du champignon,
- des particules radioactives "flottantes",
- des dimensions pratiquement identiques à celles des tirs de même puissance effectués au niveau du sol.

1.1.3. Le centre de calcul

L'évaluation d'un grand nombre de trajectoires de particules, les dimensions importantes des champignons radioactifs et le nombre élevé des sondages météorologiques, nécessitent l'emploi d'un ordinateur puissant capable de délivrer rapidement des vues globales sur les situations météorologiques avant et après le tir, et sur la situation radiologique prévisionnelle et effectivement réalisée.

L'ordinateur intégre toutes les données météorologiques permettant, par interpolation, la connaissance du vent en tout point désiré de la zone. Il permet la prévision à 12 heures et à 24 heures des vents à partir d'une situation élaborée. Une table traçante autorise la visualisation de toutes ces situations, contrôlées par les météorologistes-prévisionnistes attachés au Centre.

A partir d'une situation météorologique, l'ordinateur calcule les trajectoires des particules radioactives et délivre en dix minutes des cartes de contamination probable tant en altitude qu'au sol (courbes isochrones et isointensités).

1.2. LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE EN 1968 - RESULTATS -

1.2.1. Les trajectoires et l'atmosphère (Hiver Austral)

1.2.1.1. Trajectoires troposphériques :

Dans la troposphère tropicale sud, les masses d'air contaminées sont soumises à une circulation générale dominante d'ouest en est, en bordure sud d'une série zonale de noyaux anticycloniques. Ainsi on retrouve le schéma :

- d'un nuage principal lié à la circulation d'ouest en est,

- des nuages dérivés, extraits d'un nuage principal, vers le nord, entre les différents noyaux anticycloniques qui peuvent :
  - soit provoquer des retours de contamination vers l'ouest,
  - soit favoriser des passages entre les hémisphères sud et nord si des conditions favorables simultanées sont également réalisées au nord de l'équateur (dépressions, moussons).

1.2.1.2. Trajectoires stratosphériques :

Par suite de l'expérimentation de puissances mégatoniques, la majorité des produits de fission sont placés dans la stratosphère où la circulation générale a des caractéristiques différentes de celles rencontrées dans la troposphère.

La tropopause est le lieu d'une discontinuité du gradient thermique vertical qui entraine une discontinuité dans la diffusion des particules radioactives. La stabilité thermique verticale stratosphérique conduit à une circulation des masses d'air quasi-horizontale que met en évidence la configuration des surfaces isentropiques (surfaces de température potentielle constante) en opposition avec la turbulence troposphérique.

Il s'ensuit que le temps de séjour des produits radioactifs change d'échelle ; de quelques jours à un ou deux mois dans la troposphère, il passe de plusieurs mois à un ou deux ans dans la stratosphère. Le fait d'injecter dans la stratosphère des particules extrêmement fines ou des aérosols, écarte le danger de retombées importantes immédiates ou différées à court délai.

Les résultats des postes de prélèvements au sol abondent dans ce sens.

.../...

1.2.1.3. Cartes météorologiques du tir PROCYON (8 Septembre 1968)

Voir cartes N° 1 - 2 - 3. données à titre d'exemple d'une situation météorologique au moment d'un tir.

1.2.2. Mesures de la campagne 1968

1.2.2.1. Les mesures présentées au chapitre III sont d'origines diverses. Elles proviennent :

- du réseau français implanté en métropole et dans les départements et territoires d'Outre-mer,

- d'accords de coopération ou d'échanges de résultats avec les pays étrangers,

- de renseignements diffusés dans la littérature étrangère.

1.2.2.2. Une observation globale des mesures met en évidence un niveau général d'activité faible en ce qui concerne les retombées troposphériques, comparable à celui résultant de la campagne 1967. Un facteur de réduction égal ou supérieur à 10, suivant les postes, intervient avec les valeurs de 1966 (Réf. : Rapport à l'O.N.U. sur les retombées radioactives 1966). Cette observation peut être rattachée :

- au mode de tir sous ballon qui donne une granulométrie fine des particules,

- aux puissances supérieures expérimentées qui placent les produits radioactifs dans la stratosphère.

Ce fait est particulièrement intéressant pour l'Amérique du Sud. Le nuage initial se trouve dès le départ situé au-dessus des courants d'ouest de grande force et qui se font sentir généralement entre 9 000 et 16 000 mètres en moyenne. Le rôle de barrière joué jusqu'à présent par la Cordillières des Andes est alors atténué, car les masses d'air contaminées passent à des altitudes où l'influence de la hauteur du relief est moins sensible sur le courant de circulation. Les météorologistes admettent néanmoins qu'une chaine de montagnes fait en moyenne sentir son influence jusqu'à une hauteur qui peut atteindre quatre à cinq fois celle de la crête (Réf. : Cours de météorologie générale de J. LEPAS et G. ROCHE - Tome III).

.../...

1.2.2.3. Le calendrier de tirs pour 1968 s'établit ainsi :

7 Juillet	Tir CAPELLA
15 Juillet	Tir CASTOR
3 Août	Tir POLLUX
24 Août	Tir CANOPUS
8 Septembre	Tir PROCYON

Les délais entre deux tirs successifs vont de 8 à 21 jours ; le nuage radioactif d'un tir met de 15 à 21 jours en moyenne pour boucler un tour de l'hémisphère sud, avec des accélérations ou décélérations provoquées par les conditions atmosphériques du lieu et du moment. Les explosions étant rapprochées les unes des autres dans le temps, une sorte d'anneau de masses d'air contaminées se constitue autour de l'hémisphère sud dans lequel il devient délicat de distinguer les fronts successifs. Dans ces conditions, avec les renseignements d'un réseau aux mailles trop lâches, il est seulement possible de reconstituer le trajet le plus probable du nuage du premier tir (Voir figure 1).

Les produits des autres tirs se mélangent et se superposent.

1.2.2.4. Composantes zonales

1.2.2.4.1. Trajet principal :

1.2.2.4.1.1. La première région intéressée reste la côte ouest de l'Amérique du Sud. Les maxima observés sont de :

7 pCi/m3	le 28 Juillet à SANTIAGO
8 pCi/m3	le I2 Août à LIMA
5 pCi/m3	le I5 Août à BOGOTA

Du 15 Juillet au 30 Septembre, ces postes présentent une moyenne journalière de :

2 pCi/m^3	à SANTIAGO
2,5 pCi/m^3	à LIMA
< 1 pCi/m^3	à BOGOTA et QUITO

Un facteur important pour ces régions est le temps de transit des nuages depuis les sites de tirs. Pour 1968, ils sont de :

5 jours pour CAPELLA,

5 jours pour CASTOR,

10 jours pour POLLUX,

5 jours pour CANOPUS,

11 jours pour PROCYON.

Ces délais sont importants et permettent à deux facteurs de jouer :

- la décroissance de l'ensemble des produits de fission (loi en $t^{-1,2}$) qui divise au bout de 49 heures l'activité à H + 1 par 100, et par 1 000 au bout de 14 jours.

- la diffusion atmosphérique qui entraine une décroissance de la concentration proportionnelle à une puissance de temps de l'ordre de - 3/2 par l'intermédiaire d'un coefficient de diffusion lui-même variable sur de grandes distances. Exemple : facteur 10 entre 1 heure et 7 heures et entre 7 heures et 1 jour. Facteur 100 entre 1 jour et 6 jours.

En ce qui concerne les tirs mégatonniques, on constate que les retombées observées à 5 jours (CANOPUS) et à 11 jours (PROCYON) après tir, sur l'Amérique du Sud, se manifestent à un niveau faible, respectivement 1 et 10 pCi/m3, pendant une durée de 2 à 3 jours. Il est probable que ces régions sont intéressées au deuxième tour mondial des nuages ou après des boucles ou détours importants dûs à des configurations particulières du champ de mouvement atmosphèrique. Lors du tir chinois du 24 Décembre 1967, les Japonais ont fait sur leur territoire la même observation.

1.2.2.4.1.2. Sur une zone hémisphèrique, entre les latitudes 10° sud et 30° sud, les effets des tirs français se font sentir à des niveaux faibles. Aucun maximum important n'est à noter; la moyenne se situe à 1 pCi/m3. Relativement, les niveaux accusent une différence moindre qu'en 1966 avec ceux des postes de l'Amérique du Sud. Cette observation renforce l'hypothèse que l'Amérique du Sud est moins concernée au premier passage des nuages qu'auparavant. En fin de parcours hémisphèrique, la Polynésie est concernée à des niveaux très faibles, cachés par un autre phénomène, les retours d'activité vers l'ouest ou dérivations nord.

.../...

1.2.2.4.2. Dérivations nord (Réf: § 1.1) :

Bien avant que le nuage ait accompli son premier tour du globe, la Polynésie et les îles sous surveillance radiologique Néo-Zélandaises des SAMOA et des FIDJI sont concernées. Le niveau maximum atteint sur les SAMOA et pour 1 jour est de l'ordre de 10 pCi/m3.

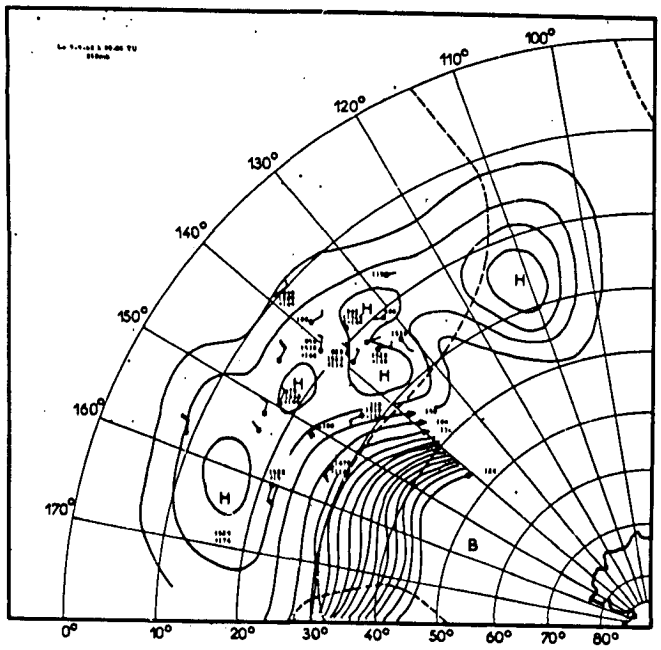
Sur la Polynésie, le délai d'apparition de ces retours varie de 48 heures à 8 jours ; ces délais sont comparables à ceux trouvés pour atteindre l'Amérique du Sud.

1.2.2.5. Composantes méridiennes.

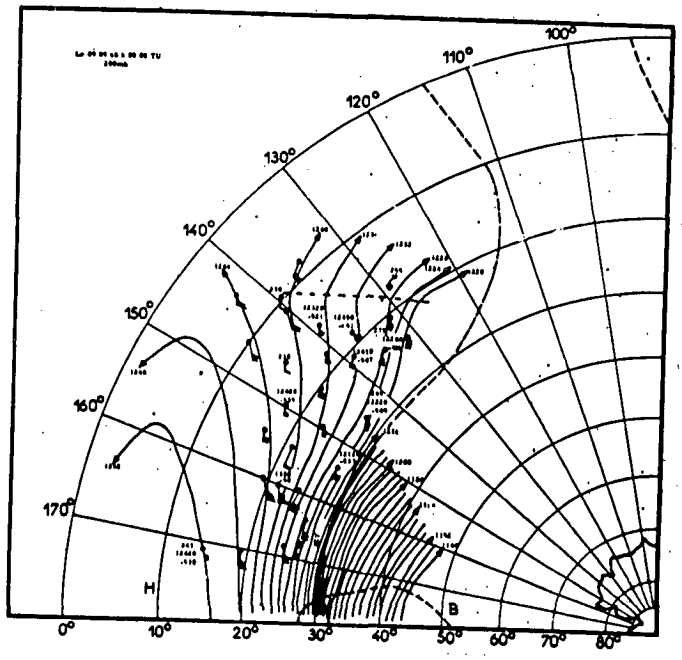
L'hémisphère nord parait peu concerné par les expérimentations nucléaires françaises du Pacifique. Des produits frais attribués à ces tirs ont été collectés sur la France au niveau très bas de 0,2 pCi/m3. Pour le poste de MONTLHERY, l'activité marquée à partir du début de l'année est surtout due au tir chinois de Décembre 1967.

Seuls les postes situés dans la ceinture équatoriales, comme CAYENNE, DOUALA et DJIBOUTI sont intéressés ; les niveaux sont de l'ordre du pCi/m3 .

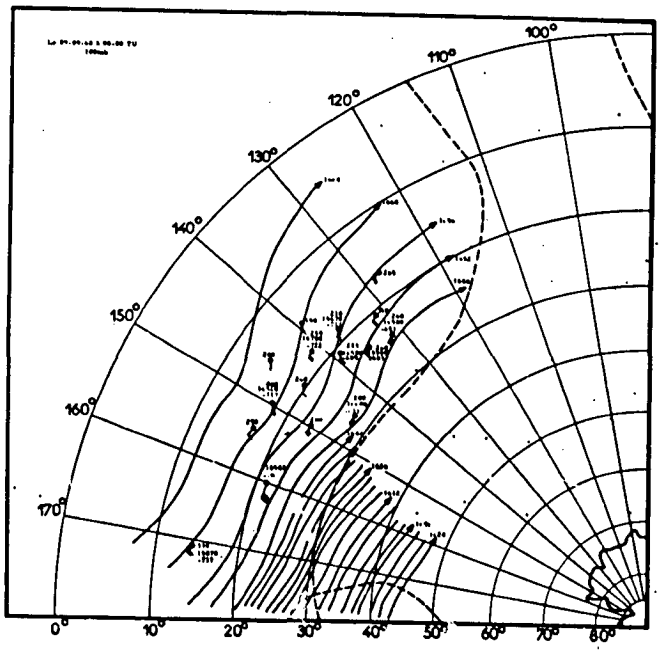
68-I-10



Carte N°I (850 millibars)



Carte N°2 (200 millibars)



Carte N°3 (IOO millibars)

Situation météorologique du 8 Septembre I968 (tir PROCYON)

68-I-11

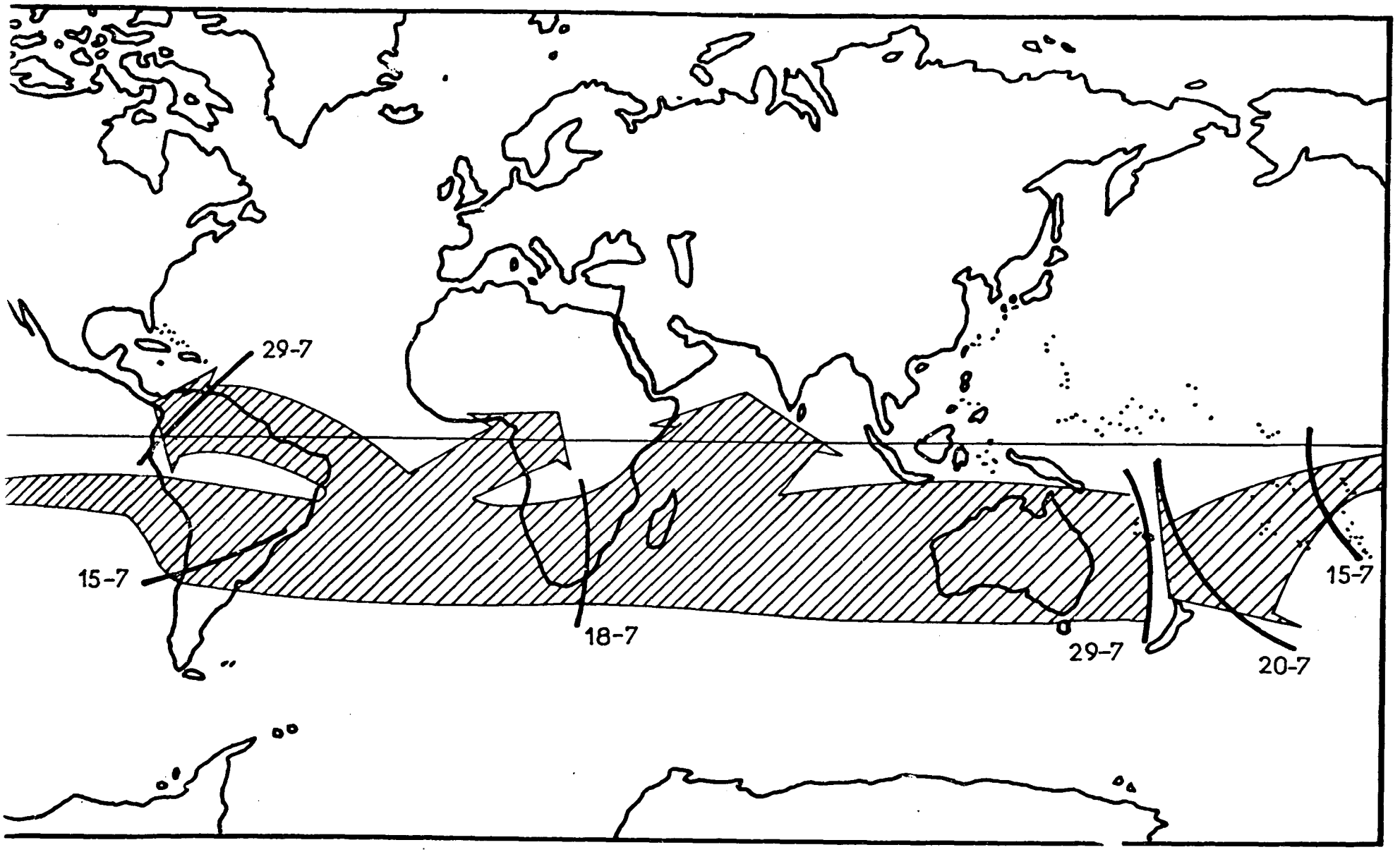


Figure N° 1 - Tir CAPELLA - 7 Juillet 1968

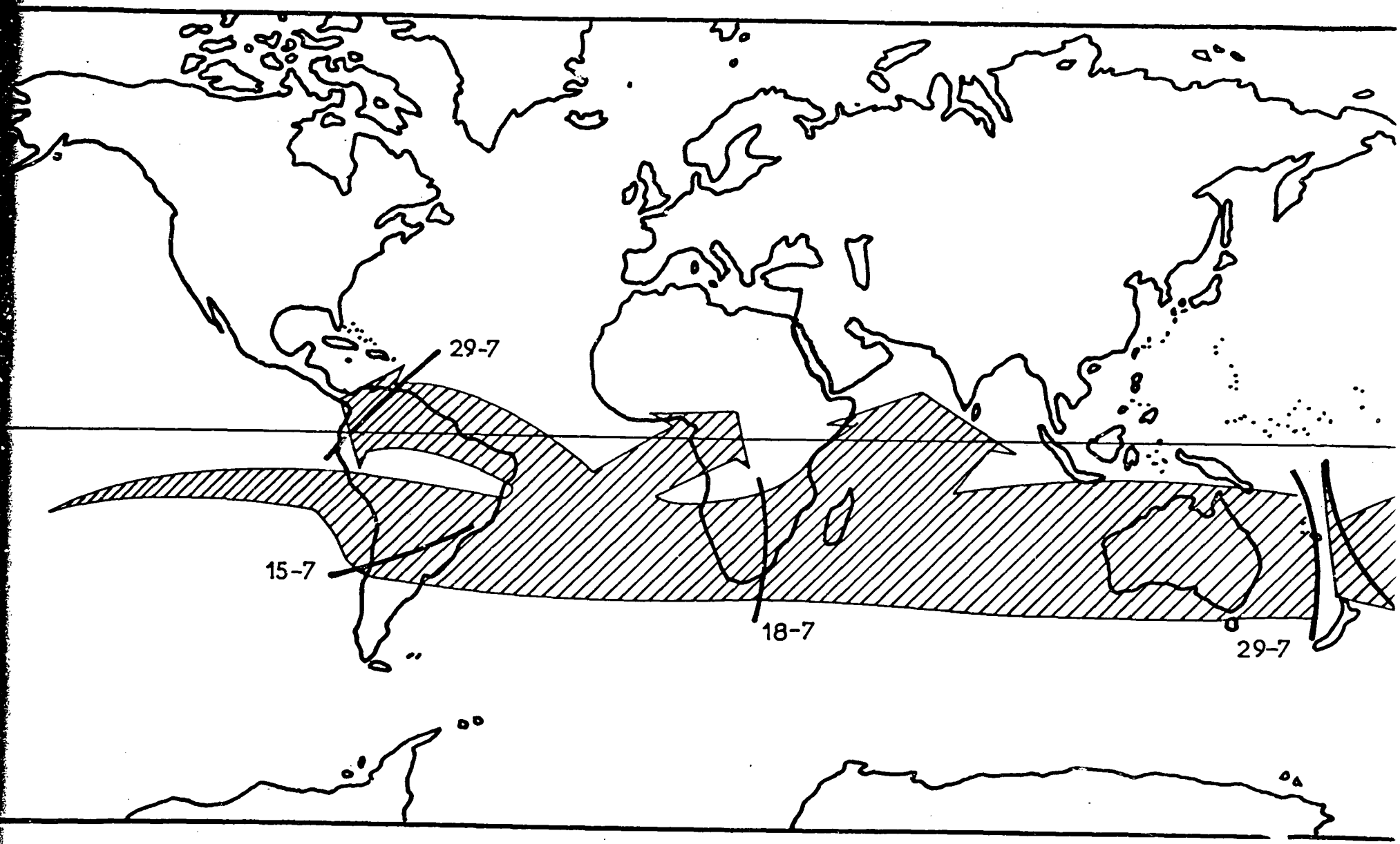


Figure N° 1 - Tir CAPELLA - 7 Juillet 1968

II - DISPERSION OCEANIQUE

Les moyens et les études indiqués dans la 1ère partie (67 -I- 10 à 67 -I- 13) ont été conservés en 1968.

Durant la campagne, la mission du Bâtiment de Recherches Océanographiques "LA COQUILLE" à porté sur le contrôle de la zone de retombées marines aux alentours des sites.

III - CHAINE ALIMENTAIRE

Les principes généraux évoqués dans la 1ère partie (campagne de tir 1967, 67 -I- 14 à 67 -I- 15) demeurent et ont contribué de la même façon à la surveillance des produits alimentaires en 1968.

Les résultats des mesures effectuées (voir annexe A-68) montrent que la pollution par des produits de fission d'origine récente bien que légèrement supérieure à celle qui a pu être constatée à la suite de la campagne 1967, est restée faible : cette constatation se dégage plus clairement au chapitre II.

Quant à d'éventuels effets à plus long terme, caractérisés par l'évolution de la teneur moyenne annuelle du 90 Sr dans le lait, le tableau ci-dessous montre qu'ils sont inexistants, la tendance de cette évolution restant la même qu'en 1967.

Les conclusions relatives à l'extrapolation aux régimes alimentaires restent donc également valables.

	1966 90 Sr pCi/litre	1967 90 Sr pCi/litre	1968 90 Sr pCi/litre
FRANCE	17,0	17,6	15,6
ALGERIE	11,2	10,0	pas de prélè - vements
SENEGAL	12,5	9,3	5,6
SOMALIE Fse	6,6	4,9	6,4
COLOMBIE	2,0	1,7	1,1
GUYANE	12,7	17,0	pas de prélè - vements
EQUATEUR	5,0	1,5	1,1
PEROU	1,8	1,3	1,5
CHILI	2,3	1,7	1,0
TAHITI	5,5	3,5	1,6
Nle CALEDONIE	3,0	2,4	2,9
MADAGASCAR	2,2	1,9	1,3

Valeurs moyennes annuelles de la contamination du lait

IV - CONTAMINATION HUMAINE

Les mesures concernant la population polynésienne se sont poursuivies en 1968, comme ce fut le cas en 1966 et en 1967.

Les résultats de cette série de mesures sont indiqués au chapitre II.

CHAPITRE II

RESULTATS DES MESURES

INTERPRETATION SANITAIRE DES VALEURS OBSERVEES

Comme pour la campagne de tirs 1967 (Ière partie), les tableaux et graphiques indiquant les résultats des mesures effectuées sur les poussières atmosphèriques et les échantillons biologiques sont regroupés dans l'annexe A-68.

I. RESULTATS DES MESURES

1.1. Généralités

Les stations de l'hémisphère Sud et quelques stations de l'hémisphère Nord situées près de l'équateur (Quito, Bogota, Cayenne, Djibouti, Douala) ont montré une augmentation de la contamination (air, lait, végétaux...) en relation avec la campagne 1968 d'essais nucléaires dans le Pacifique.

Il faut noter que la comparaison directe des niveaux observés après les tirs, à ceux existant en juin n'a pas de signification, la contamination étant due dans un cas à des produits de fission frais et, dans l'autre, à des produits de fission beaucoup plus anciens provenant des campagnes 1966 et 1967 ou même des essais effectués dans l'hémisphère Nord.

1.2. Contamination atmosphérique

Dans son aspect le plus général, la contamination après chaque tir évolue sous forme d'un pic plus ou moins marqué suivi de poussées moins élevées mais plus étalées. Ce schéma vrai pour la Polynésie, le Pérou et le Chili devient beaucoup plus flou à mesure que l'on s'éloigne vers l'Est à partir de la Côte Pacifique de l'Amérique du Sud, vers l'Ouest à partir de Tahiti. Il faut cependant noter que par rapport à la campagne 1966, les pics ont été beaucoup moins accusés et l'étalement plus prononcé. Ce phénomène est probablement dû au fait que les essais ont été effectués en altitude avec des engins beaucoup plus puissants.

En quelques mois, on revient toujours aux niveaux d'activité existant avant le début des essais en Polynésie.

Les valeurs les plus élevées pour les mesures journalières ont été observées dans certaines îles de Polynésie où l'on a noté 60 pCi/m3 le 7 juillet et le 20 août à Raevavae et Raroïa ; ailleurs les valeurs n'ont jamais dépassé 50 pCi/m3 : 35 pCi/m3 à Papeete, 8 pCi/m3 à Lima, 7 pCi/m3 à Santiago.

Les moyennes décadaires les plus fortes ont été trouvées à peu près dans les mêmes stations et aux mêmes dates : 11 pCi/m3 à Mahina et Anaa durant la période du 21 au 31 août ; 10 pCi/m3 à Papeete durant la même période ; 6 pCi/m3 à Lima durant la période du 11 au 20 août ; 3 pCi/m3 à Santiago durant les périodes du 21 au 31 juillet et du 1er au 10 août ; ailleurs les moyennes décadaires ont toujours été inférieures à 2 pCi/m3.

On peut se faire une idée grossière de l'importance de la contamination atmosphérique globale consécutive aux essais, par intégration des résultats journaliers de juin à décembre.

Les régions où l'influence des tirs s'est fait le plus sentir sont certaines îles de la Polynésie française (250 à 330 pCi.J/m3), les deux pays d'Amérique au sud de l'équateur (près de 220 pCi.J/m3 à Lima et 175 pCi.J/m3 à Santiago du Chili), enfin les territoires ou bases françaises de l'hémisphère Sud ou proches de l'équateur (100 pCi.J/m3 à Diego-Suarez, 90 pCi.J/m3 à Nouméa et à Cayenne ; 80 pCi.J/m3 à

à la Réunion ; 60 pCi.J/m3 à Douala ; ailleurs les valeurs ont été inférieures et même très inférieures à 50 pCi.J/m3.

1.3. Contamination du lait

Etant donné qu'on a affaire à des produits de fission recents, la contamination du lait est due essentiellement à l'Iode 131.

1.3.1. Iode 131

Les valeurs maximales sont atteintes en deux ou trois jours après le passage du nuage radioactif. La décroissance se fait après chaque apport avec une période de l'ordre de cinq jours.

Les valeurs les plus élevées ont été observées au cours des mois d'août et de septembre. Elles n'ont pas dépassé 500 pCi/l (Tacna au Pérou le 6 septembre 1968) et se sont le plus souvent maintenues autour de 100 à 200 pCi/l. La contamination du lait par l'iode 131 a décru dans toutes les stations au cours du mois d'octobre pour devenir nulle au mois de novembre.

On a une idée plus précise de la contamination du lait dans chaque station en exprimant les résultats en pCi.J/l (picoCurie jour par litre).

Les stations où l'on a observé les contaminations les plus élevées du lait sont celles de Tacna au Pérou (près de 10 000 pCi.J/l), de Diego-Suarez à Madagascar (6 500 pCi.J/l), d'Arequipa au Pérou (près de 6 000 pCi.J/l), de Tahiti en Polynésie française (près de 5 000 pCi.J/l) et de Lima au Pérou (près de 4 000 pCi.J/l). Dans toutes les autres stations on obtient des valeurs inférieures et le plus souvent très inférieures à 500 pCi.J/l.

1.3.2. Strontium 90 et Cesium 137

En dehors de quelques fluctuations attribuables, semble-t-il, aux variations saisonnières et à l'échantillonnage, on n'a pas observé de modification significative de la concentration de Cesium 137 et du Strontium 90 dans le lait.

1.4. Contamination des végétaux

De très nombreux prélèvements de nature variée ont été analysés ; ils ne permettent pas toujours de suivre pour une même station et un même aliment l'évolution de la contamination.

Dans l'ensemble cependant, seules les espèces pouvant être contaminées par voie directe (dépôt sur les parties aériennes) ont montré une contamination par des produits frais.

On a donc considéré comme représentative la contamination des salades. L'activité des échantillons les plus contaminés ne dépassait pas quelques milliers de pCi par kilogramme frais. Les valeurs les plus fréquemment rencontrées n'excédaient pas quelques centaines de pCi par kilogramme frais.

1.5. Contamination de la faune marine

Tant en provenance du large que des lagons des échantillons de poissons et de coquillages ont été analysés en 1968 dans les îles de la Société, l'archipel des Tuamotu, les îles Marquises et les îles Australes.

L'activité bêta totale de ces échantillons a toujours été très faible et a montré tout au long de l'année une tendance à la baisse.

En moyenne cette activité s'est maintenue quand elle était décelable à quelques centaines de pCi par kilogramme et a atteint exceptionnellement un à deux milliers de pCi par kilogramme pour les échinodermes.

Les radioéléments les plus souvent identifiés ont été le Zinc 65, le Cobalt 60 et le Zirconium-Niobium 95.

1.6. Examen d'individus de la population par spectrométrie gamma

Au cours du 1er semestre 1968, une série de mesures avait confirmé les valeurs moyennes observées après les tirs de 1967.

Une autre série de mesures, portant seulement sur 38 individus (16 hommes et 22 femmes) a été effectuée après la campagne de tir 1968. Les valeurs obtenues ont été de :

- 28 pCi de Cesium 137 par gramme de Potassium pour les hommes,
- 20 pCi de Cesium 137 par gramme de Potassium pour les femmes.

Ces valeurs indiquent qu'il n'y a pas eu de variation au cours de l'année 1968.

2. EVALUATION DE L'ORDRE DE GRANDEUR DE L'IRRADIATION DES POPULATIONS

2.1. Irradiation de la thyroïde

2.1.1. Nourrisson

Pour les nourrissons, la dose à la thyroïde est la somme de la dose due à l'inhalation et de la dose due à la consommation du lait.

a) Les doses dues à l'inhalation sont de l'ordre de 0,7 à 1,4 millirem pour les stations de la Polynésie française, de l'ordre de 0,7 à 0,9 millirem pour les stations de l'hémisphère sud les plus proches du champ de tir (Lima et Santiago) inférieures à 0,3 millirem pour toutes les autres stations.

b) Les doses dues à la consommation du lait ont été calculées pour huit stations à partir des valeurs de concentration intégrée : de l'ordre de 120 millirems à Tacna au Pérou, de l'ordre de 80 millirems à Diego-Suarez (Madagascar), de l'ordre de 70 millirems à Arequipa au Pérou, de l'ordre de 60 millirems à Tahiti, de l'ordre de 50 millirems à Lima (Pérou) et inférieures à 10 millirems pour Bogota, Quito et Santiago.

2.1.2. Enfant

La dose à la thyroïde provient de l'inhalation, de la consommation de lait et de la consommation de légumes verts.

a) La dose due à l'inhalation est de l'ordre de 1 millirem en Polynésie française, de l'ordre du demi-millirem à Santiago et Lima et partout ailleurs inférieure à cette dernière valeur.

b) La dose due à la consommation du lait varie entre 20 et 50 millirems au Pérou, est de l'ordre de 30 millirems à Diego-Suarez, de l'ordre de 25 millirems à Papeete, et est inférieure à 5 millirems dans toutes les autres stations.

c) Comme en général les prélèvements de légumes verts n'étaient pas assez fréquents pour suivre l'évolution de leur contamination, on a admis que cette évolution était analogue à celle du lait.

La dose due à la consommation de légumes verts est de l'ordre de 0,6 millirem à 1,5 millirem au Pérou, de l'ordre de 1 millirem à Diego-Suarez, de l'ordre de 0,7 millirem à Papeete et est inférieure à 0,1 millirem partout ailleurs.

Dans le cas où il n'était pas possible d'évaluer l'évolution de la contamination des légumes à partir des résultats d'analyse du lait on a calculé la dose qui aurait été délivrée dans l'hypothèse où la contamination des légumes se serait maintenue pendant les six mois à la valeur la plus élevée observée au cours de cette période. Cette méthode conduit aux valeurs suivantes : 8 millirems à Nouméa, 4 millirems à Douala, 1 millirem à Cayenne. Elle surestime très largement les doses, c'est ainsi qu'elle conduirait à 8 millirems à Diego-Suarez (au lieu de 1 millirem) et à 4 millirems à Papeete (au lieu de 0,8 millirem).

2.1.3. Adultes

La dose à la thyroïde provient de l'inhalation, de la consommation de lait et de la consommation de légumes verts.

a) La dose due à l'inhalation varie de 0,4 à 0,8 millirem en Polynésie française, elle est de l'ordre de 0,5 millirem à Lima et est partout ailleurs inférieure à cette dernière valeur.

b) La dose due à la consommation du lait varie de 7 à 20 millirems au Pérou, est de l'ordre de 13 millirems à Diego-Suarez, de l'ordre de 10 millirems à Papeete, inférieure à 1 millirem dans toutes les autres stations.

c) La dose due à la consommation des salades est partout inférieure à 0,6 millirem si on utilise la comparaison avec le risque que comporte la consommation de lait. Une dose de l'ordre de 3 millirems a été calculée pour Nouméa en faisant l'hypothèse que la plus forte contamination trouvée sur la salade s'était maintenue 6 mois, ce qui laisse à penser que la dose réelle est inférieure à 0,5 millirem puisque par ce mode de calcul on trouve 3 millirems pour Diego-Suarez (au lieu de 0,4 millirem).

.../...

1.2.2. Irradiation de l'appareil respiratoire

Ce calcul a été effectué pour le nourrisson, l'enfant de 7 ans et l'adulte et, comme on pouvait s'y attendre, en aucune station cette dose au poumon n'a dépassé un millirem. La valeur la plus forte est enregistrée à Mahina (Polynésie française) où elle atteint 0,9 millirem pour le nourrisson.

1.2.3. Irradiation des populations vivant sur les atolls et les îles de la Polynésie

Du fait du milieu très spécial dans lequel elles vivent, ces populations ont un régime alimentaire très particulier.

D'une façon très schématique on distingue deux types principaux de régime alimentaire :

- celui des atolls marqué par la prépondérance dans la ration des produits de la mer et des produits de la cocoteraie (eau de coco, coprah).

- celui des îles où ces deux composants de la ration voient leur suprématie amoindrie par la consommation de légumes verts, de fruits variés, de protéines animales d'origine terrestre (poulet, porc).

Compte tenu de ces conditions particulières et des examens effectués sur de nombreux échantillons des différents produits consommés la dose à l'organisme entier de l'adulte est, pour la durée de la campagne dans le cas des atolls de l'archipel des Tuamotu, de l'ordre de 6 millirems.

De même dans le cas des îles de l'archipel de la Société la dose à l'organisme entier de l'adulte est de l'ordre de 2 millirems et la dose à la thyroïde de l'ordre de 0,6 millirems.

1.2.4. Conclusions

Bien évidemment c'est l'irradiation de la thyroïde du nourrisson qui est le problème essentiel dans l'étude des risques consécutifs aux retombées nucléaires troposphériques, en raison d'une part, de la relative abondance des produits à vie courte comme l'iode dans ce type de retombée, en raison de la forte consommation du vecteur lait par le nourrisson d'autre part, enfin en raison de la faible masse de la thyroïde de ce dernier.

Les doses délivrées à la thyroïde sont restées à des niveaux faibles et dans l'ensemble inférieures d'un facteur égal au moins à 2 aux doses résultant des essais de la campagne 1966; elles sont par ailleurs à peine supérieures à celles évaluées pour 1967.

Ce résultat est important à souligner, compte-tenu des fortes puissances mises en oeuvre en 1968. Il est essentiellement dû à l'emploi exclusif de la technique de tir sous ballon et au fait que, lors des essais mégatonniques, la majeure partie des produits de fission libérés par l'explosion sont injectés dans la stratosphère.