



Impact Radioécologique et Sanitaire  
de la Contamination par le Carbone 14  
du site de Ganagobie (Haute Provence)

Fabrice LEPRIEUR - IRSN / SSEI

## Activités de la société Isotopchim

- Établissement industriel et commercial
- Synthèse de molécules organiques radioactives (essentiellement  $^{14}\text{C}$ )

## Historique

- **1989** : Arrêté préfectoral pour l'autorisation d'exploitation (ICPE)
- **1995** : Première intervention de l'OPRI à la demande du Préfet
  - ➔ Contamination de l'environnement et des locaux
- **1997** : Fermeture définitive après deux suspensions d'activité
  - ➔ 500.000 Bq de  $^{14}\text{C}$ /kg de C dans les végétaux
- **1998** : « Affaire » des boues radioactives contaminées de Ganagobie
- **2000** : Liquidation judiciaire et cessation définitive d'activité
- **2001** : Intervention de l'OPRI sur le site à la demande de la Préfecture
  - ➔ **Évaluation du risque sanitaire et de l'extension géographique de la contamination environnementale**

### Objectifs :

- ➔ **Déterminer l'étendue et l'intensité de la pollution par le carbone 14**, tant à l'intérieur des locaux qu'à l'extérieur (Ganagobie et environnement éloigné)
- ➔ **Préciser au mieux l'urgence et les conditions d'une future réhabilitation des lieux**

### Les 3 axes de travail :

- **Laboratoires Isotopchim** : contrôle de la contamination surfacique (radiamètre, frottis) et prélèvements d'échantillons
- **Environnement de l'usine** : réalisation d'une cartographie de la contamination du site, échantillonnage sur les productions locales
- **Population de Ganagobie** : bilan sanitaire, transfert à la chaîne alimentaire, élaboration de scénarii, évaluation de la dose reçue



## Situation :

85km au Nord-Est de Marseille  
Entre Forcalquier et Digne (04)

## Climat :

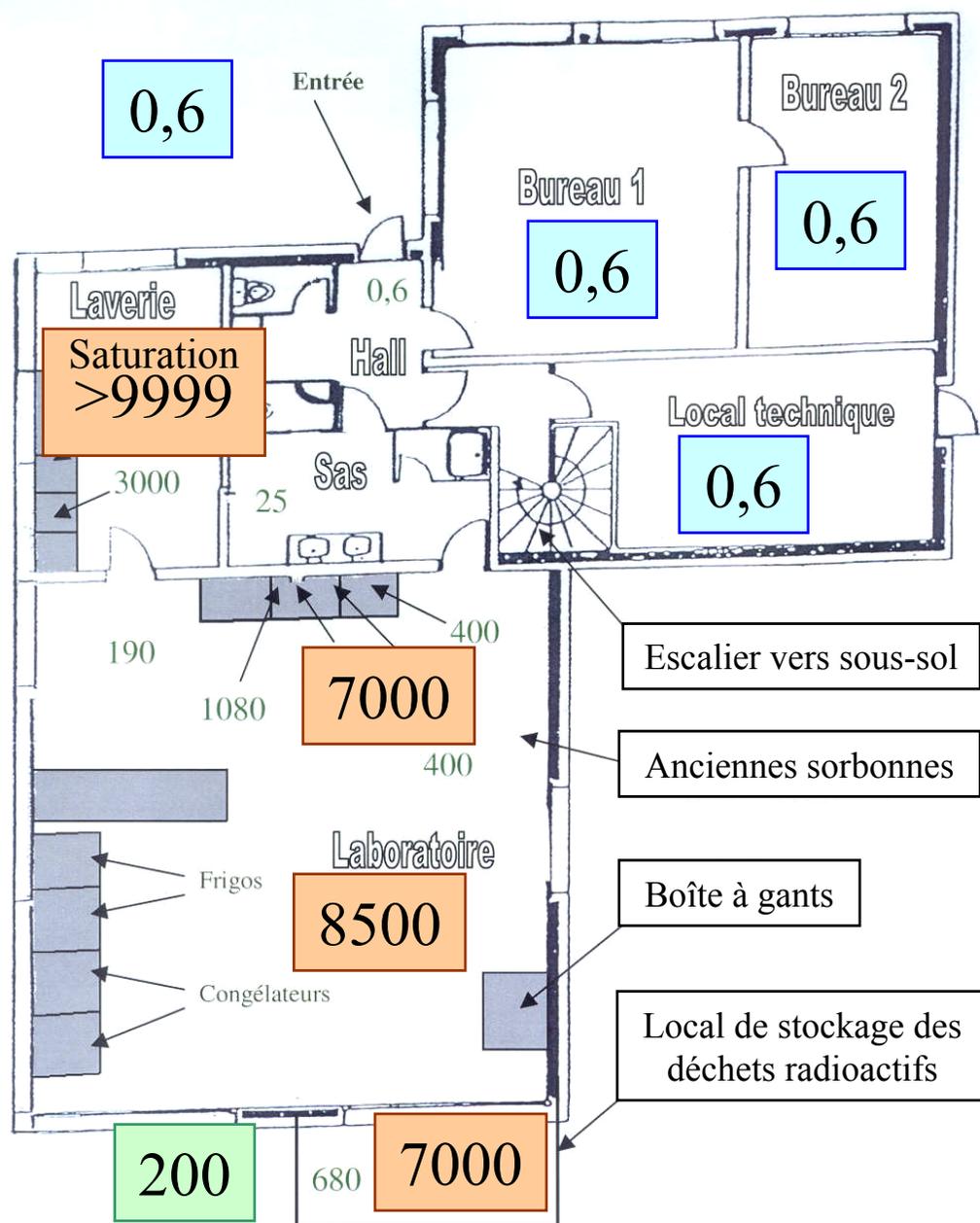
Méditerranéen  
Vents NE et SO

## Géologie :

Village : marnes et conglomérats  
Plateau : molasse (calcaire sableux)

## Végétation :

Formations méditerranéennes et anthropiques



## 1 – Étude radiométrique

**Matériel :** Polyradiamètre MIP 21 avec sonde bêta mou à 2 détecteurs

**Bruit de fond : 0,6 chocs/seconde**

➔ Augmentation très nette des niveaux de contamination

➔ Foyers très contaminés : le laboratoire, la laverie et le local de stockage extérieur

➔ Apparition de tâches de contamination à l'extérieur du bâtiment (200 chocs/s)

**2 – Prélèvements surfaciques**

**Matériel** : frottis humides à l'alcool

**Surface de référence** : 100 cm<sup>2</sup>

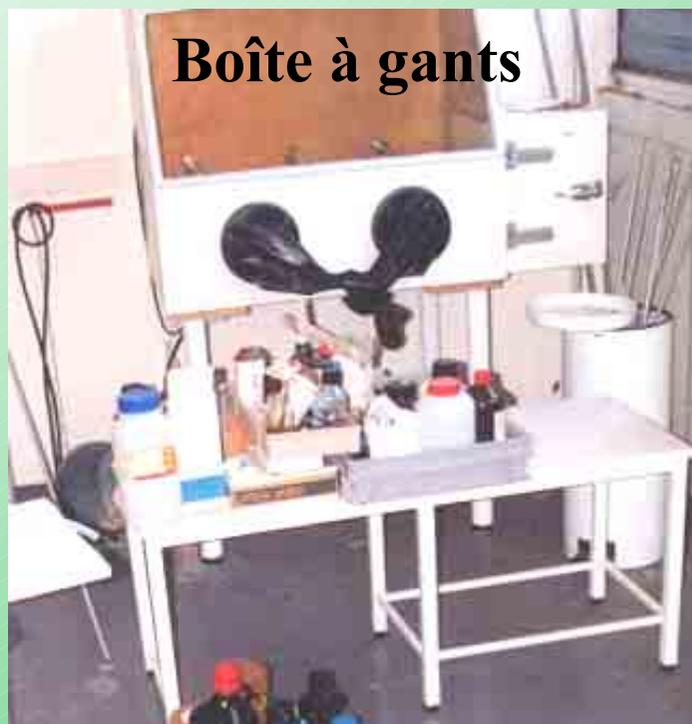
**Comparaison** avec les résultats de 1995 et 1997

**Contamination surfacique plus de 10.000 fois supérieure à celle mesurée pendant la période d'activité de l'usine Isotopchim**



**Sorbannes**

**>700 Bq de <sup>14</sup>C / cm<sup>2</sup>**



**Boîte à gants**

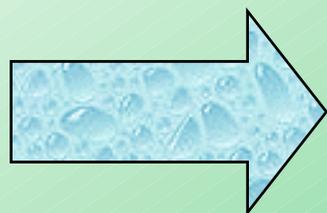
**>21000 Bq de <sup>14</sup>C / cm<sup>2</sup>**



**Laverie**

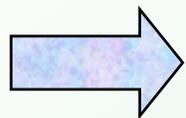
**>230 Bq de <sup>14</sup>C / cm<sup>2</sup>**

## 3 – Échantillonnage dans les locaux et sur le toit de l'usine

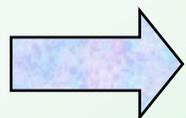


**Les bacs de décantation présentent les niveaux de radioactivité les plus importants mesurés au cours de l'étude de la contamination des locaux d'Isotopchim.**

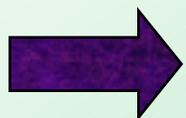
## 4 – Bilan



Augmentation importante des niveaux de radioactivité aussi bien à l'intérieur qu'aux abords immédiats du bâtiment.



Présence de produits chimiques et de solvants organiques (dont certains sont explosifs) stockés dans des conditions critiques.



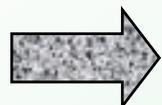
**Dégradation de la situation par rapport aux missions précédentes, tant du point de vue radiologique que du point de vue de la sécurité en général.**



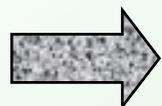
Suite aux recommandations de l'OPRI : mise en place d'un **périmètre de sécurité** afin d'éviter toute dispersion incontrôlée



## Délimitation de la zone d'étude



Historique du site : synthèse des données antérieures disponibles



Configuration des lieux : topographie, rose des vents, ...

## Échantillonnage environnemental

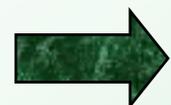
- **Sols** ➔ prélèvements de surface : 0-10 cm et 10-20 cm
- **Végétaux** : choix en fonction de la répartition (homogène) de l'espèce sur la zone d'étude et de son état végétatif
  - ➔ herbe : tallage de graminées d'espèces variées
  - ➔ feuilles de chêne vert : intégrateur sur 3 ans en moyenne
  - ➔ feuilles de chêne blanc : intégrateur de contamination annuelle
  - ➔ feuilles de troène, d'olivier, aiguilles de pin d'Alep
- **Bois** : deux types de prélèvements sur des chênes vert et des pins d'Alep
  - ➔ par carottage horizontal dans le cambium et l'aubier
  - ➔ par forages multiples sur des sections d'arbres après identification des cernes (dendrochronologie)

## Principaux résultats

Après plus 3 ans d'arrêt de fonctionnement de l'usine :



Diminution significative des niveaux de  $^{14}\text{C}$  dans les sols et les végétaux prélevés en 2001

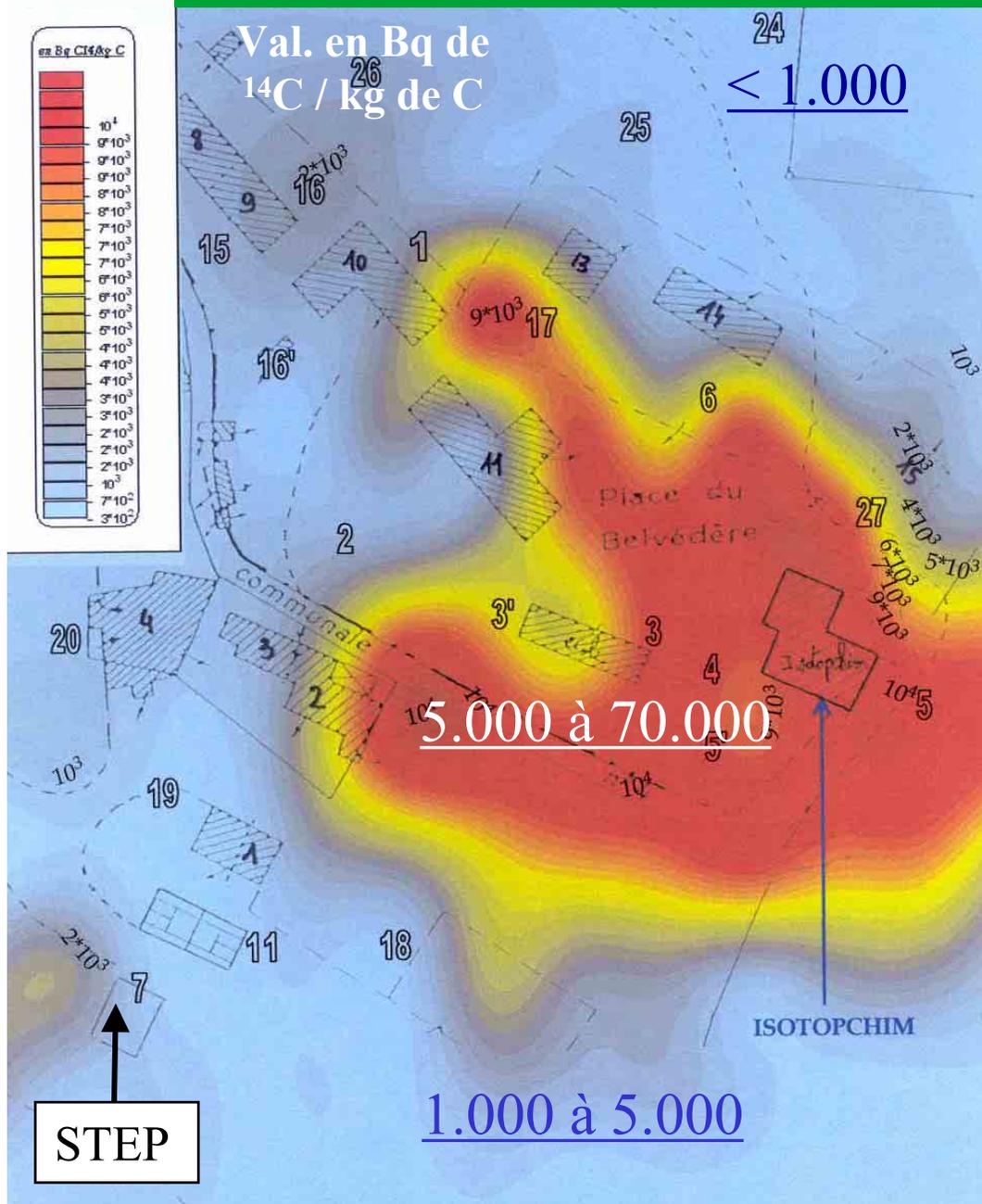


Marquage en  $^{14}\text{C}$  de l'environnement immédiat de l'usine toujours important dans les sols (66.000 Bq  $^{14}\text{C}$  / kg C), les arbres (25 000 Bq  $^{14}\text{C}$  / kg C), les feuilles d'arbres (40 000 Bq  $^{14}\text{C}$  / kg C) ainsi que dans tous les végétaux situés dans ce périmètre

Variation des niveaux de contamination dans l'environnement entre 1995 et 2001 (résultats en Bq de  $^{14}\text{C}$  / kg de carbone)

	Sol	Herbe	Chêne vert	Aiguilles de Pin	Feuilles de Troène
1995	$> 2.10^6$	67.000	350.000	41.000	350.000
1998	60.000	20.000	520.000	26.000	395.000
2001	66.000	2.000	40.000	3.000	6.500





Réalisation d'une cartographie de la contamination par le  $^{14}\text{C}$  de l'environnement de l'usine

Extrapolation de données



Visualisation de l'étendue et de l'intensité de la contamination



Délimitation de la zone d'étude concernée par la réhabilitation ultérieure du site

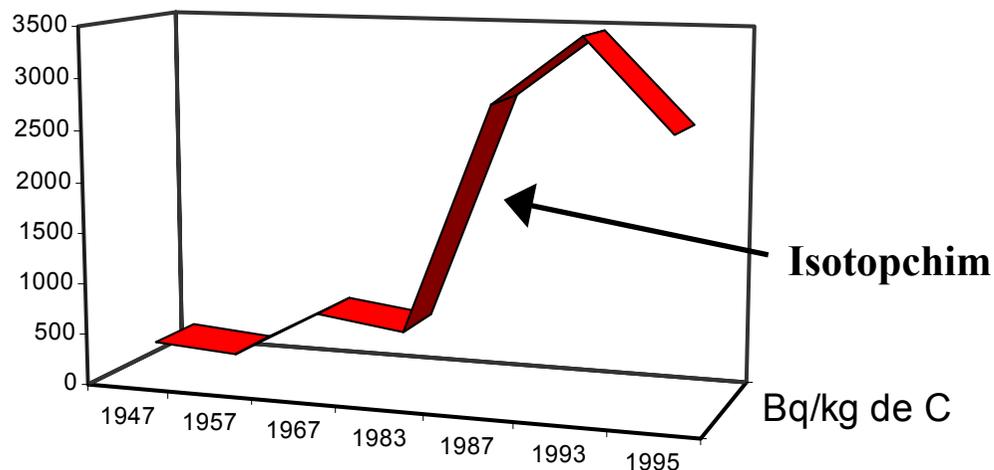
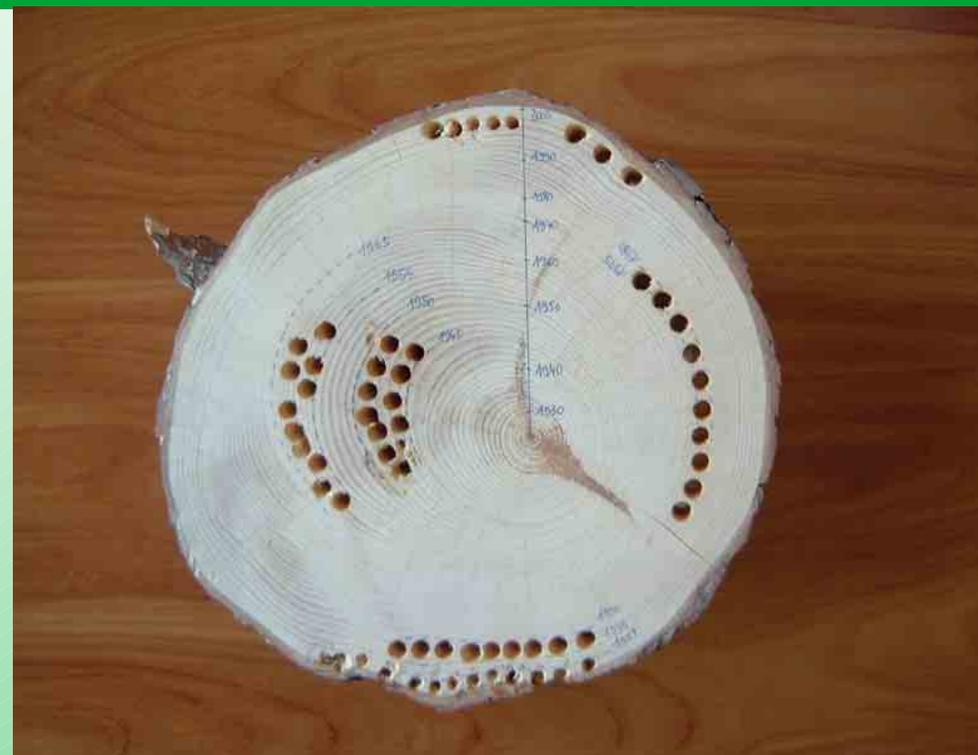
# IRSN Étude de la contamination de l'environnement du site

## Radioécologie et dendrochronologie

Cambium = siège de la croissance annuelle de l'arbre et des échanges (sève, eau)

Aubier = ensemble des cernes (anneaux de croissance) encore vivantes du tronc

➔ 80% de la masse carbonée des cernes sont fixés, seuls 20% participent aux échanges avec les cernes voisines



**Résultats obtenus dans une section de Chêne**  
**1944–1959** : valeur proche de la teneur naturelle en  $^{14}\text{C}$  (300 Bq de  $^{14}\text{C}$  / kg de C)  
**1965–1980** : apport de  $^{14}\text{C}$  (800 Bq de  $^{14}\text{C}$  / kg de C) en partie imputable aux essais nucléaires atmosphériques des années 60  
**1986–1995** : impact d'Isotopchim nettement visible (3500 Bq de  $^{14}\text{C}$  / kg de C)

**Échantillonnage sur les produits locaux consommés par la population**

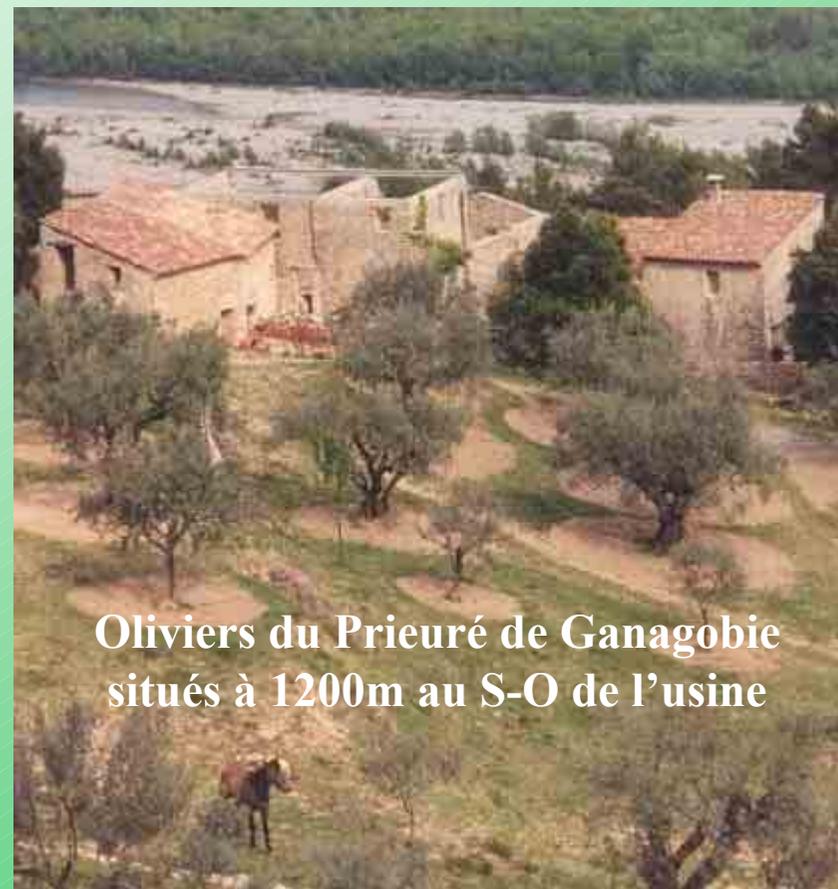
- ➔ Récolte de tous les légumes cultivés au village ainsi qu'au Prieuré de Ganagobie
- ➔ Récolte de toutes les herbes aromatiques susceptibles d'être consommées

(résultats en Bq de <sup>14</sup>C / kg de C)

	Thym	Romarin	Laurier
1995	39.600	50.000	14.000
1998	29.000	21.500	-
2001	1.000	7.700	1.200



**Diminution significative des niveaux d'activité mais le marquage en <sup>14</sup>C reste important dans les végétaux situés à proximité immédiate de l'usine**



Oliviers du Prieuré de Ganagobie situés à 1200m au S-O de l'usine

## Hypothèses retenues :

- Les personnes constituant les groupes « critiques » susceptibles d'être exposés résident en permanence sur place et consomment uniquement les produits cultivés dans leurs potagers ou récoltés dans la garrigue environnante

## Échantillonnage pour l'évaluation des doses :

- Légumes – racines (pomme de terre, asperge)
  - Légumes – feuilles (salade, fenouil)
  - Herbes aromatiques (thym, romarin, sarriette, lavande)
- Capacité de fixation du  $^{14}\text{C}$  différente

## Choix des taux de consommation :

Données INSEE : enquêtes alimentaires pour connaître les rations alimentaires des individus des groupes de référence

Ration alimentaire moyenne annuelle par personne en France



Valeurs en kg.an <sup>-1</sup>	Sud de la France	France
Légumes – feuilles	16,0	15,3
Légumes – racines	46,7	53,7
Légumes – fruits	17,6	14,8
Pommes de terre	35,4	40,7
Fruits frais	44,0	38,6

**INHALATION**

Le carbone 14 intégré par l'homme provient essentiellement de la nourriture ingérée (300g de carbone par jour absorbé à 99,9% soit une ingestion annuelle de 30 000 Bq)



L'apport par inhalation est de l'ordre de 3g par jour dont seulement 1% est fixé dans l'organisme (OMS, 1987)

**1995** : Pendant le fonctionnement de l'usine, la dose due à l'activité volumique en  $^{14}\text{C}$  de l'air avait été évaluée à **7 $\mu\text{Sv}/\text{an}$**



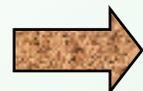
Situation actuelle : 3 ans après la fin des rejets atmosphériques de l'usine  
Contrôle par prélèvement d'aérosols atmosphériques sur filtre au niveau du sol

**2001** : la dose due à l'inhalation de particules par une personne résidant en permanence à Ganagobie peut être considérée comme insignifiante

## INGESTION



Le calcul de la dose due à l'ingestion passe par l'évaluation de l'activité incorporée et l'utilisation de dose par unité d'incorporation (Sv par Bq ingéré).



Pour un radionucléide et un produit alimentaire, le calcul du débit de dose est :

$$H_{E(ing)} = C \times TC \times FD_{ing}$$

**$H_{E(ing)}$**  Débit de dose dû à l'ingestion d'un radionucléide dans un produit alimentaire (Sv.an<sup>-1</sup>)

**C** Concentration du radionucléide dans le produit alimentaire considéré (Bq.kg<sup>-1</sup>)

**TC** Taux de Consommation du produit alimentaire (kg.an<sup>-1</sup>)

**$FD_{ing}$**  Dose Par Unité d'Incorporation par ingestion du radionucléide (Sv par Bq ingéré)



Les valeurs de la dose par unité d'incorporation (DPUI) varient en fonction des caractéristiques physico-chimique du radionucléide considéré et de la classe d'âge de la population.

CLASSES D'ÂGE	Âge < 1 an	Âge > 17 ans
DPUI (Sv.Bq <sup>-1</sup> )	1,4.10 <sup>-9</sup>	5,8.10 <sup>-10</sup>

Directive 96/29 Euratom du 13/05/96 (Journal Officiel des Communautés européennes)

## INGESTION → Principaux résultats

Classes d'âge	Débit de dose à Isotopchim		Débit de dose au Prieuré		Activité max. (Bq de <sup>14</sup> C / kg frais)		Ration aliment. (kg/an)
	< 1 an	> 17 ans	< 1 an	> 17 ans	Isotopchim	Prieuré	
Légumes – feuilles	2,3	0,9	0,6	0,3	100	25	16
Légumes – racines	16,4	6,8	4,6	1,9	250	70	46,7
Herbes aromatiques	2,3	0,9	0,2	0,1	1600	100	1
<b>TOTAL (µSv/an)</b>	<b>21</b>	<b>8,6</b>	<b>5,4</b>	<b>2,3</b>			



Une consommation exclusive de végétaux entraînerait une exposition annuelle variant de **2,3 µSv/an** à **21 µSv/an** (valeur proche du seuil d'exemption)



Situation extrême et très éloignée de la réalité mais qui présente l'intérêt de fournir des résultats très inférieurs à la limite réglementaire fixée par la Directive 96/29 (1 mSv/an pour le public)

**INGESTION PAR INADVERTANCE**

- ?  Présence d'enfants et d'aires de jeux près de l'usine Isotopchim
-  Activité massique des sols : 10.000 à 66.000 Bq de  $^{14}\text{C}$ /kg de C

Valeurs préconisées par le National Radiological Protection Board (NRPB, 1996) pour l'évaluation de la dose reçue en cas d'ingestion de sol par inadvertance

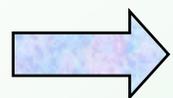
Âge	1 an	5 ans	10 ans	15 ans	Adulte
Sol (g.an-1)	36,5	7,3	3,7	1,8	1,8

-  **Scénario adopté** : enfant de 1 an ayant ingéré 36,5g de sol contaminé à hauteur de 100.000 Bq de  $^{14}\text{C}$ /kg de carbone (soit 8.000 Bq/kg frais)



Dose incorporée =  $0,5\mu\text{Sv}/\text{an}$  (très inférieure au seuil d'exemption de  $10\mu\text{Sv}/\text{an}$ )

## POPULATION



Aucune restriction sur la consommation des productions maraîchères ou fruitières provenant du village et du Prieuré de Ganagobie.

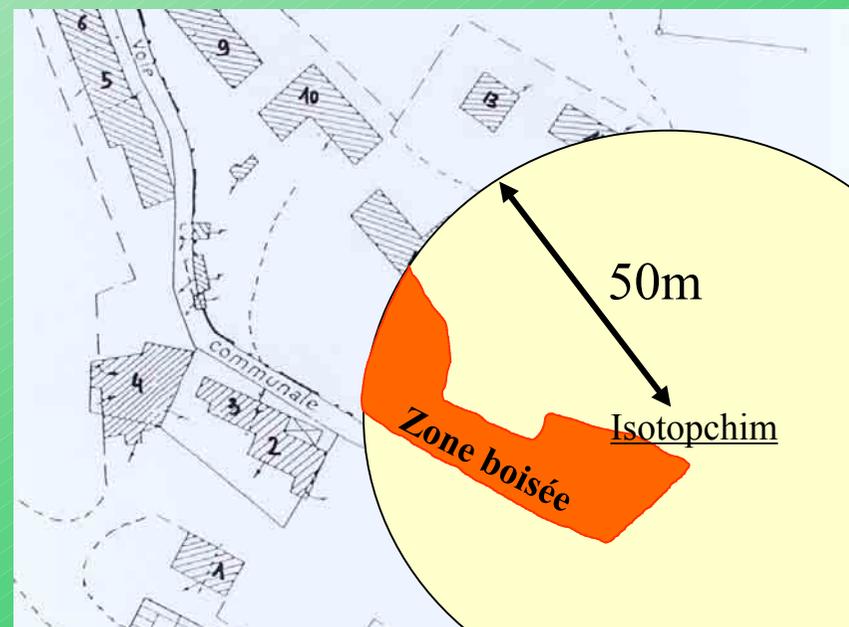
## ENVIRONNEMENT DE L'USINE

Dans un rayon de 50 mètres autour de l'usine (considérée comme épicode de la pollution) : marquage important des sols et des végétaux (arbres)

Recommandations pour ne pas utiliser les arbres comme bois de chauffage afin d'éviter l'émission de CO<sub>2</sub> marqué au <sup>14</sup>C lors de la combustion de ce bois.



Coupe à blanc dans la zone boisée puis prise en charge des stères vers un site de stockage



### BÂTIMENT PRINCIPAL DE L'USINE

**Avril 2001**

Niveaux de radioactivité très élevés  
Risque chimique et radiologique important



**Juin 2001**

Mise en place d'un périmètre de sécurité  
autour du bâtiment principal de l'usine



**Octobre 2001**

Contrôle de contamination des produits  
chimiques et élimination par une société  
spécialisée (40% des produits seulement)



DECHETS	ACTIVITE
Déchets technologiques et déchets solides contaminés	98 GBq
Liquides	35 GBq
Verrerie et matériels contaminés	?
Boues de station d'épuration	0,43 GBq
Déchets liés à la décontamination des locaux	?

Évaluation technique et financière de l'ANDRA



Diversité des produits contaminés  
Difficultés de caractérisation des déchets



Décontamination – Réhabilitation des locaux



Stockage des déchets contaminés au carbone 14



Site non-sécurisé (explosifs, conteneurs de gaz chimiques)