



**AREVA**

l'avenir pour énergie

# SITES DE STOCKAGE DE RESIDUS DE TRAITEMENT DES MINERAIS D'URANIUM : COMPARAISON ENTRE LES RESULTATS DE SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE ET LA MODELISATION DE L'EXHALATION DE RADON

**Philippe Crochon<sup>1</sup>, Patrick Devin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>NEW AREVA / BU Mines - Direction Sécurité et Intégration dans les Territoires

[philippe.crochon@areva.com](mailto:philippe.crochon@areva.com)

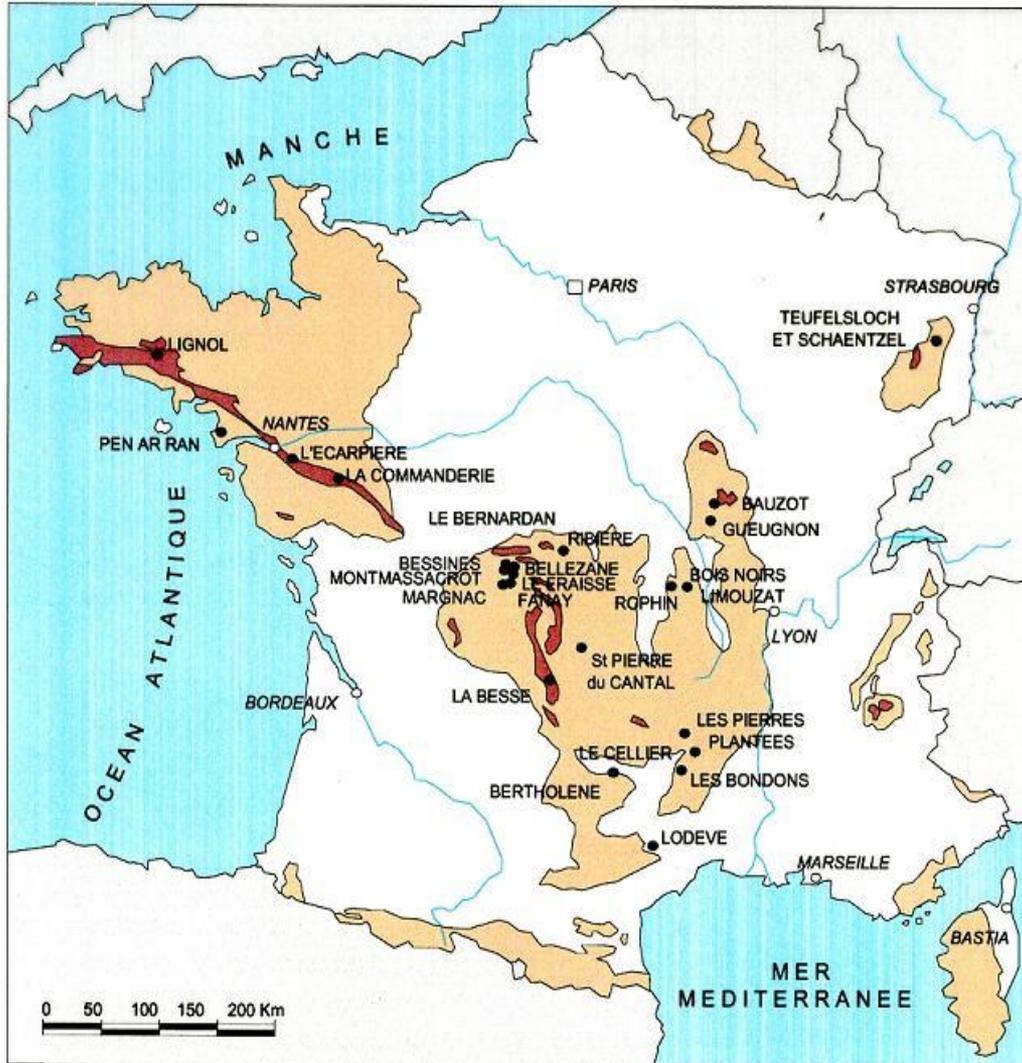
<sup>2</sup>NEW AREVA / BU Recyclage - Direction Sûreté Environnement

[patrick.devin@areva.com](mailto:patrick.devin@areva.com)

« Air & Radioactivité »  
Journées SFRP – 01 & 02 février 2017 – Paris (UIC) « Air & Radioactivité »  
Journées SFRP – 01 & 02 février 2017 – Paris (UIC)



# Sites miniers uranifères et de stockage de résidus de traitement des minerais d'uranium



1947 – 2001 :

- 76 000 t d'Uranium
- 167 Mt de stériles
- 52 Mt de résidus
- 17 sites de stockage
- 8 anciennes usines
- 244 sites miniers
- AREVA : 234
- Etat : 9
- CEA : 1
- 12 régions
- 26 départements

1950 : Henriette, première mine française



L'arrêt des mines françaises en 2001

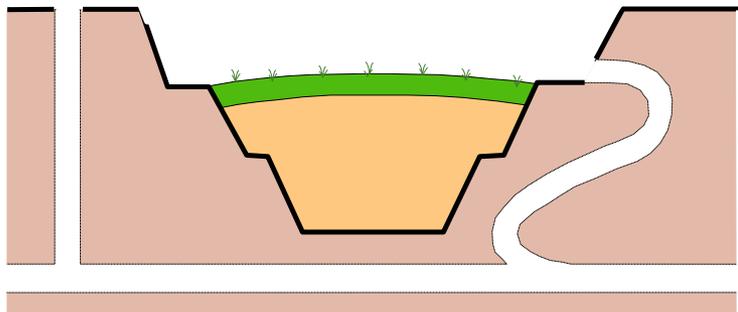


# Caractéristiques des résidus de traitement de minerais d'uranium

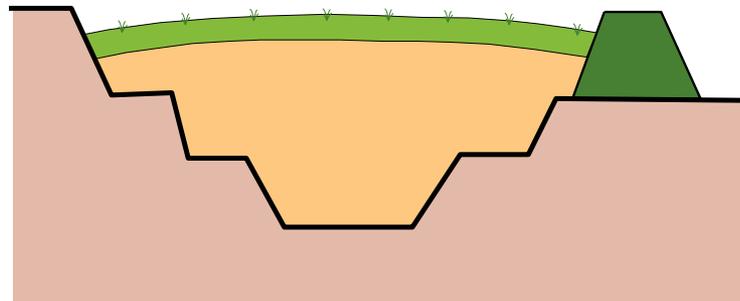
## ► Les résidus ou rejets sont les produits non valorisables sortant d'une installation de traitement

- ◆ Volume équivalent à celui du minerai
- ◆ Sous forme de sables argileux très peu perméables / de blocs rocheux
- ◆ Ne contiennent que des radionucléides naturels avec des éléments à vie longue (chaîne U)
- ◆ Ont une radioactivité faible, de l'ordre de grandeur de celle des minerais naturels
- ◆ Impact potentiel :
  - Vecteur air (gamma – radon – poussières),
  - Vecteur eau (U + Ra226)

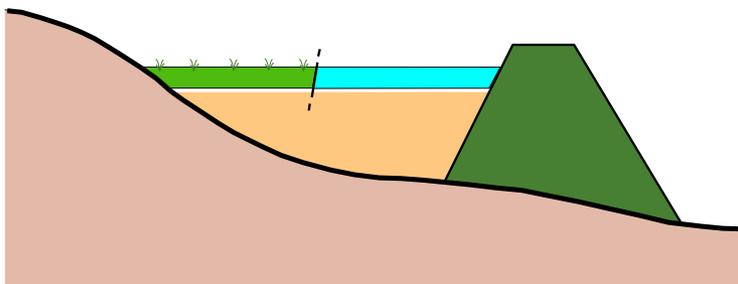
# Différents types de stockages de résidus miniers



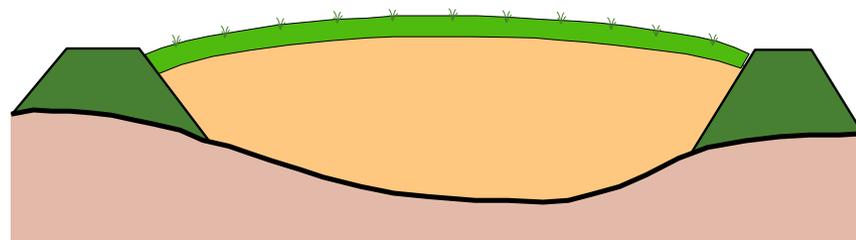
M.C.O. ( ± T.M.S )  
REPLISSAGE TOTAL OU PARTIEL  
( Ex : Bellezane - Cellier )



M.C.O. + DIGUE  
REPLISSAGE TOTAL  
( Ex : Brugeaud - Montmassacrot - Lodève )



THALWEG BARRE PAR DIGUE  
REPLISSAGE TOTAL  
( Ex : Forez - Bertholène )



DEPRESSION + MERLON OU DIGUE DE CEINTURE  
REPLISSAGE TOTAL  
( Ex : Ecarpière - Jouac - Lavaugrasse )

# Couverture des stockages

## OBJECTIFS

### RESISTANCE

### PROTECTION

MECANIQUE

EROSION

INTRUSION

RADIOLOGIQUE

VECTEUR AIR

VECTEUR EAU

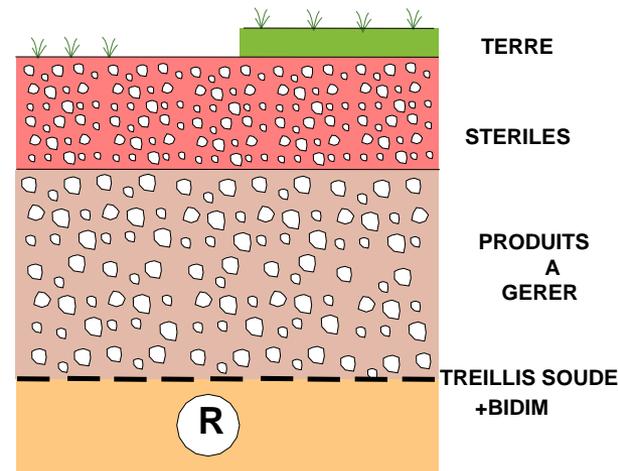
### INTEGRATION PAYSAGERE

MODELE ADAPTE

VEGETALISATION

1.5 à 2 m

Quelques m



## CONSTITUANTS

PRIORITE AUX PRODUITS DISPONIBLES SUR SITE

## REALISATION

- PLANCHES D'ESSAIS MULTICOUCHES
- CAMPAGNES DE MESURES
- MISE EN PLACE

# Les études PNGMDR : Impact dosimétrique à long terme

- ▶ **PNGMDR 2007/2009 : modélisation selon scénario d'évolution normale et 4 scénarios d'évolution altérée**
  - ◆ Evolution normale : respect 1mSv/an ajouté
  - ◆ Evolution altérée : < quelques dizaines de millisieverts par an en cohérence avec les niveaux de référence définis par la CIPR pour les situations d'exposition existantes
- ▶ **PNGMDR 2010/2012 : comparaison des résultats de surveillance « air » avec les résultats par modélisation en prenant en compte la variabilité du bruit de fond**
- ▶ **PNGMDR 2013/2015 : poursuite de l'étude en ciblant sur le radon => 5 sites, mesure flux de Rn, modélisation, comparaison avec résultats surveillance, détermination part Rn « naturel » et « industriel », efficacité des couvertures...**
  - ◆ mesures d'exhalation faites sur site
  - ◆ comparaison avec le calcul théorique
  - ◆ modélisation de la dispersion atmosphérique
  - ◆ comparaison avec les données EAP Rn222 des réseaux de surveillance

***PNGMDR : Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs***

# Le radon

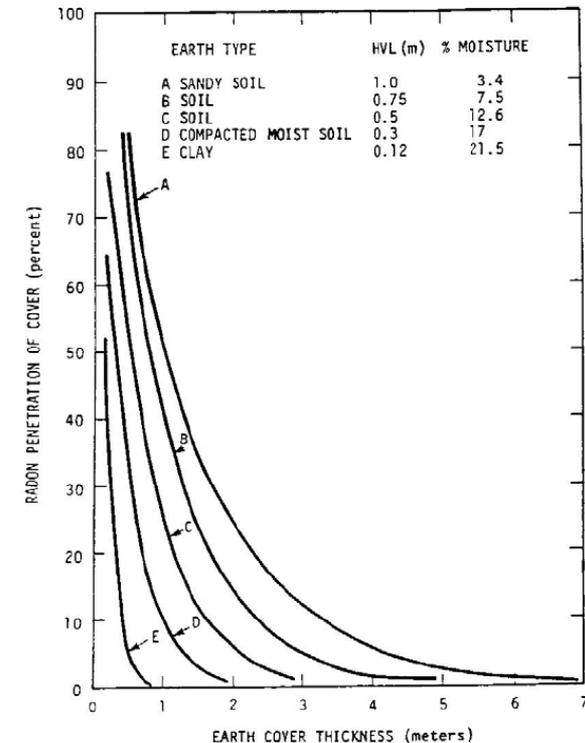
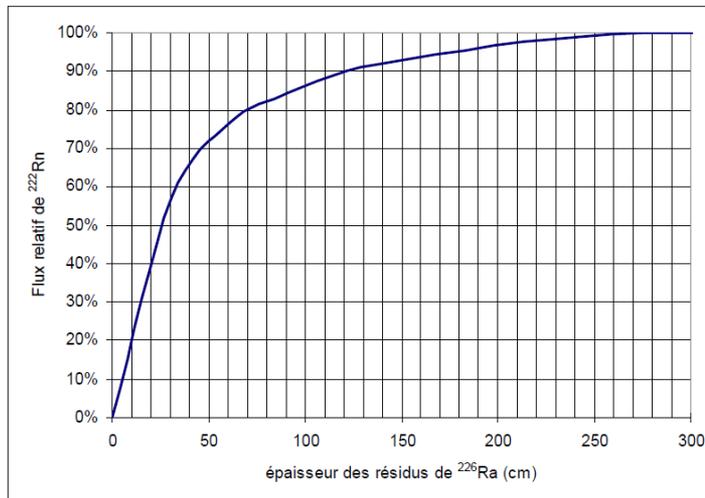


- ▶ Le radon est un **gaz radioactif** qui provient de la désintégration de l'uranium et du thorium
- ▶ Le **Radon 222** : issu de l'U238, émane en quantité plus faible que le thoron (100 fois moins en moyenne). Il est pourtant l'isotope **le plus présent** dans l'atmosphère à cause de sa période radioactive qui est de 3,8 jours.
- ▶ Dans les sols, une fois formé, le gaz  $^{222}\text{Rn}$  migre vers la surface (exhalation). Cette migration dépend des caractéristiques géologiques et géotechniques du sol.
- ▶ Le risque dosimétrique du radon 222 n'est pas lié au gaz lui-même mais à ses produits de filiation. Le radon 222 se désintègre pour donner successivement des atomes de polonium 218, de plomb 214, de bismuth 214 et de polonium 214.

# Impact dosimétrique lié aux stockages de résidus : méthodologie PNGMDR 2007

## ► Modélisation du flux de radon émis du stockage

- ◆ **Caractéristiques radiologiques et géochimiques des résidus de traitement des minerais d'Uranium**
- ◆ **Estimation du flux de radon 222 exhalé par le sol**
  - Valeur expérimentale conservatoire de 0,5 Bqm<sup>2</sup>/s de Rn22 pour 1 Bq/g de Ra226 => Flux relatif de Rn222 en fonction de l'épaisseur de la couche de Ra226
  - Atténuation du flux de radon par la couverture



$$\phi_{Rn222\_emis} = F\_prop \cdot C_{Ra226}$$

# Impact dosimétrique lié aux stockages de résidus : méthodologie PNGMDR 2007

## ► Modélisation de la concentration de radon dans l'environnement

- ◆ A partir d'un modèle de dispersion atmosphérique gaussien (Doury) : calcul d'un CTA à partir du code de calcul COTRAM
- ◆ Schéma météorologique moyen annuel
- ◆ Concentration en Rn222
- ◆ EAP : **l'énergie alpha potentielle**, **EAP (en J)** est l'énergie alpha totale émise par les désintégrations alpha d'un atome et de ses descendants jusqu'au Pb210 non inclus

$$EAP_v = F \cdot EAP_{\text{équilibre}} \cdot C_{\text{Rn222}}$$

F: facteur d'équilibre

$EAP_{\text{équilibre}}$  : Énergie alpha potentielle du 222Rn (en équilibre avec ses descendants) en nJ/m<sup>3</sup>

$C_{\text{Rn222}}$  : Concentration mesurée du 222Rn en Bq/m<sup>3</sup>

- ◆ Le facteur d'équilibre se définit comme le rapport de l'énergie alpha potentielle au point considéré sur l'énergie alpha potentielle qu'aurait eu le 222Rn et ses fils à vie courte s'ils étaient à l'équilibre
- ◆ Ainsi, à un facteur d'équilibre faible correspond un radon fraîchement émis avec peu de descendants formés et dont l'effet sanitaire sera faible en relatif.

# Méthodologie PNGMDR 2013/2015 : Mesures de flux surfacique d'exhalation du radon 222

- ▶ Barasol placé sur un volume d'accumulation
- ▶ 5 points de mesure par zone de mesurage
- ▶ Norme NF M-60 768
- ▶ Période d'accumulation d'environ 2 heures et demi
- ▶ Mesures ponctuelles : double prélèvement au moyen de fioles scintillantes
- ▶ Mesures corrélées aux conditions météorologiques du moment dont elles dépendent fortement



Mesure ponctuelle



Mesure en continu

# Méthodologie PNGMDR 2013/2015 : Impact dosimétrique lié aux stockages de résidus

- ▶ **Modélisation de la dispersion atmosphérique du radon à l'aide du code de calcul ADMS v4.2, code de calcul pseudo gaussien qui utilise d'autres paramètres que les classes de Pasquill ou Doury et recalcule les intensités de turbulence de manière continue et pour chaque enregistrement météorologique plutôt que de répertorier en 6 classes le phénomène de stabilité atmosphérique.**
- ▶ **Il dispose d'une reconnaissance internationale pour ce type d'études**
- ▶ **Prise en compte des données météo annuelles moyennes en considérant 6 paramètres pour implémentation dans ADMS : vitesse et direction du vent à 10m, température, précipitations, longueur de Monin-Obukhov et hauteur de la couche limite**
- ▶ **Pris en compte du relief à partir de données IGN**
- ▶ **Elaboration de cartes isocontours en concentration de radon pour les 5 sites**
- ▶ **Transformation des concentrations en EAP**

# Site de l'Ecarpière: Mesures de flux d'exhalation de radon



# Impact dosimétrique lié aux stockage de résidus: flux d'exhalation Rn222

Site	Surf en ha	Tonnage en Mt	Ra226 en Bq/g	Flux calculé Bq/m <sup>2</sup> /s	Nbre pts mesures	Flux moy mesuré Bq/m <sup>2</sup> /s
Gueugnon	7	0,2	62	17,87	135	0,55
Lodève	23	4,1	27	0,26	229	0,14
Ecarpière	45	11,0	21	9,53	339	0,28
Brugeaud	11	5,7	28	2,98	308	0,44
Lavaugrasse	30	5,7	25	2,66	344	0,57
Bellezane	8	1,5	32	0,05	182	0,23

# Site de Gueugnon: Isocontours concentrations Rn222

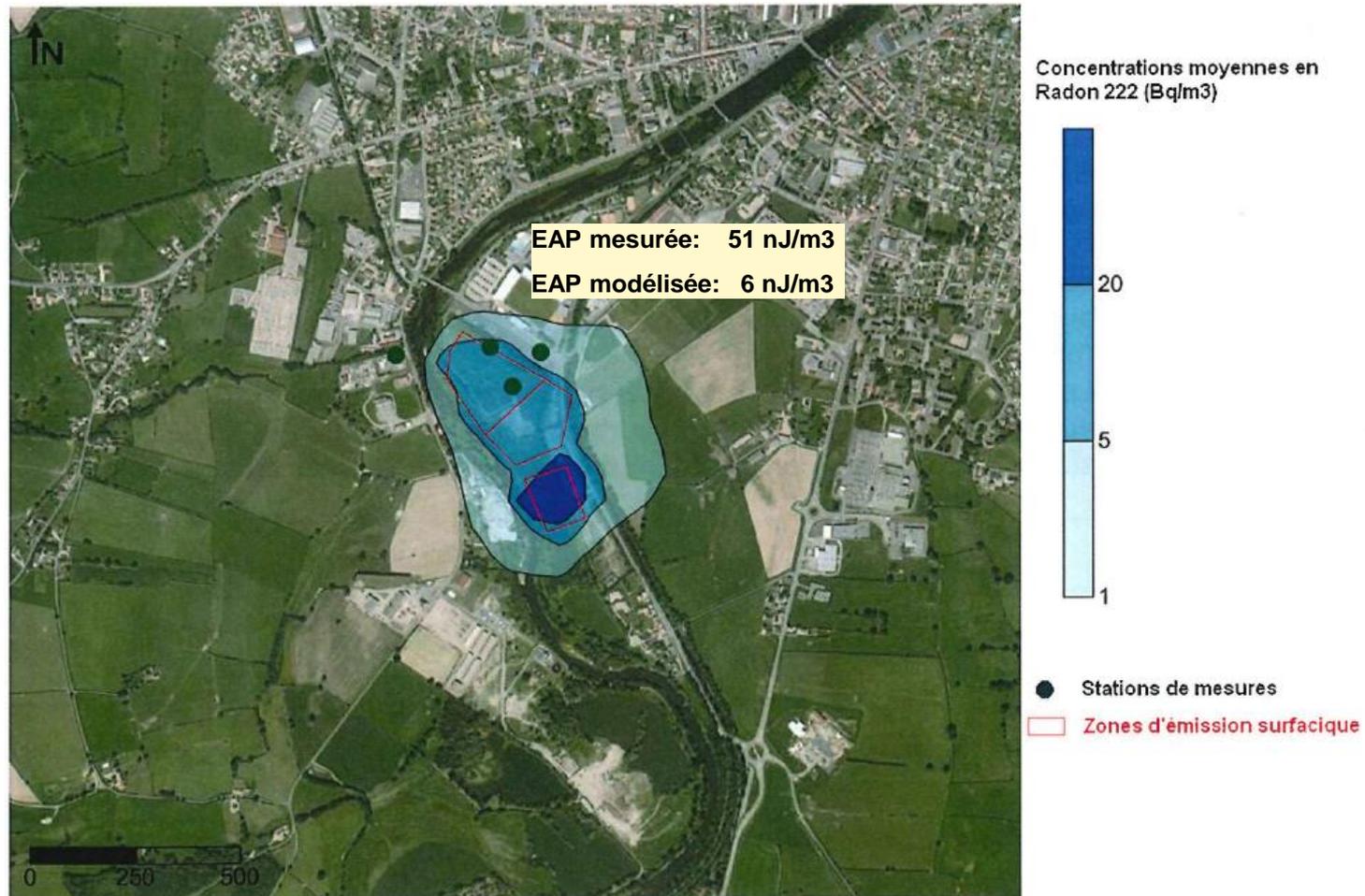


Figure 8 : Isocontours des concentrations horaires moyennes en radon 222 (Bq/m<sup>3</sup>)

# Site de Lodève: Isocontours concentrations Rn222

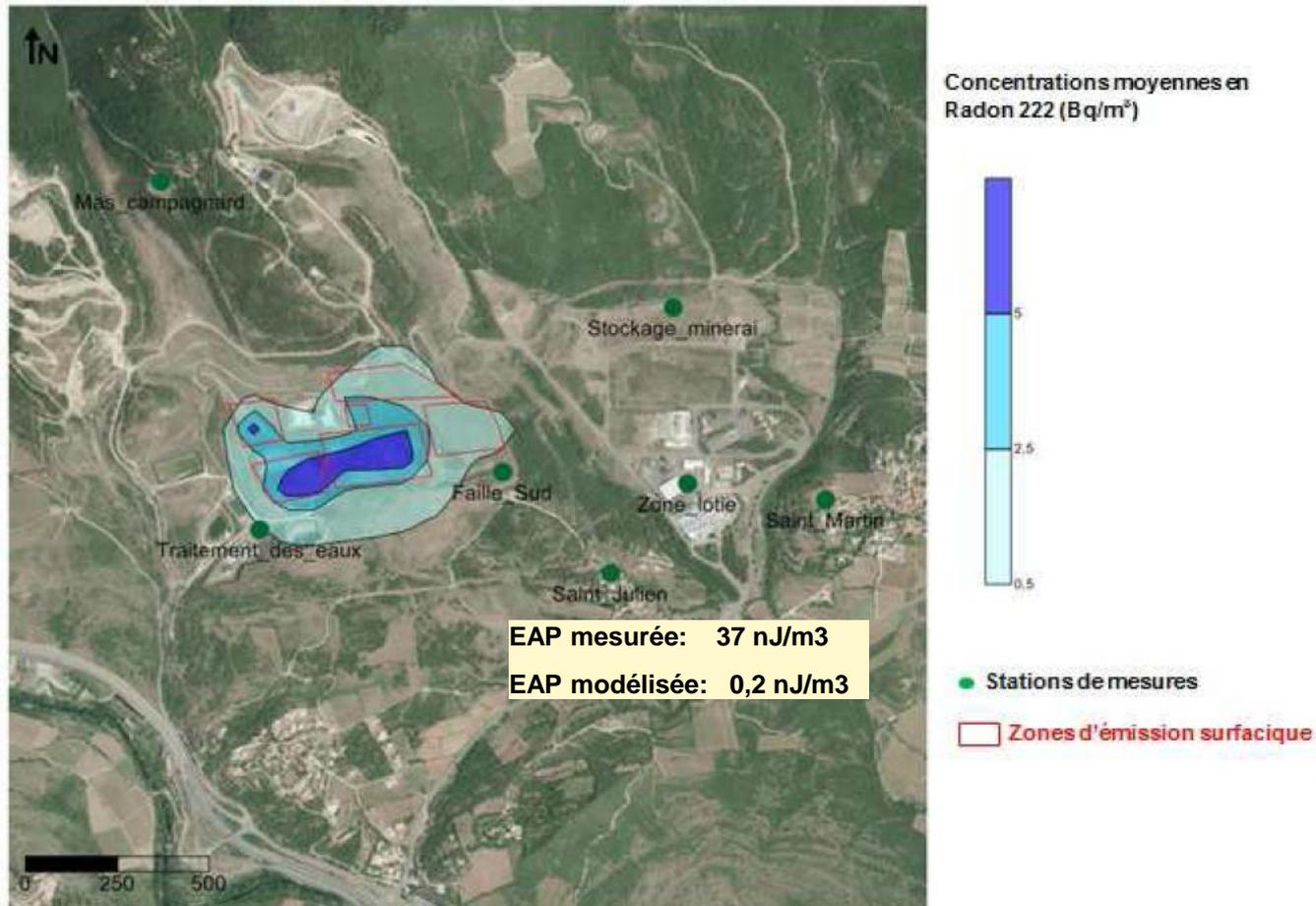


Figure 8 : Isocontours des concentrations horaires moyennes en <sup>222</sup>Rn (Bq/m<sup>3</sup>)

# Site de l'Ecarpière: Isocontours concentrations Rn222

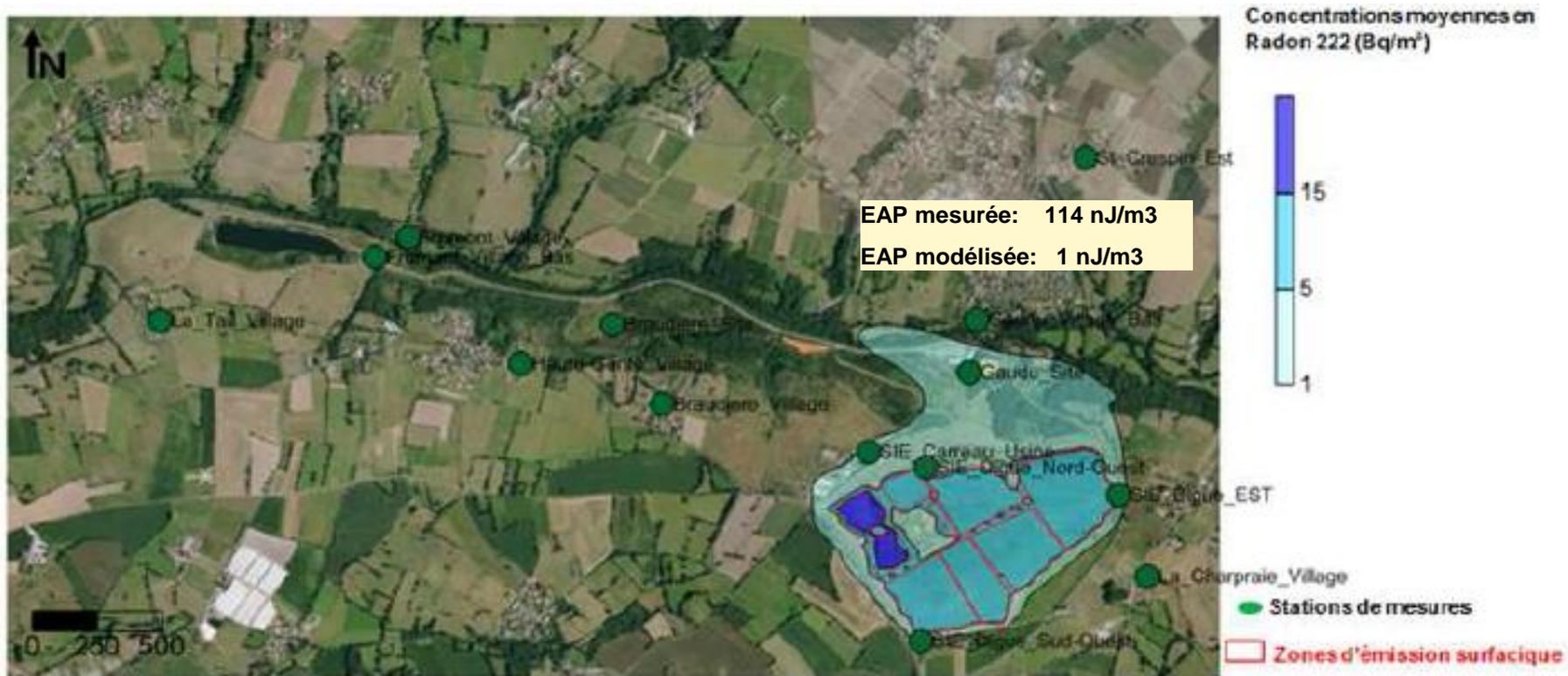


Figure 9 : Isocontours des concentrations horaires moyennes en <sup>222</sup>Rn (Bq/m<sup>3</sup>)

# Site de Bessines: Isocontours concentrations Rn222

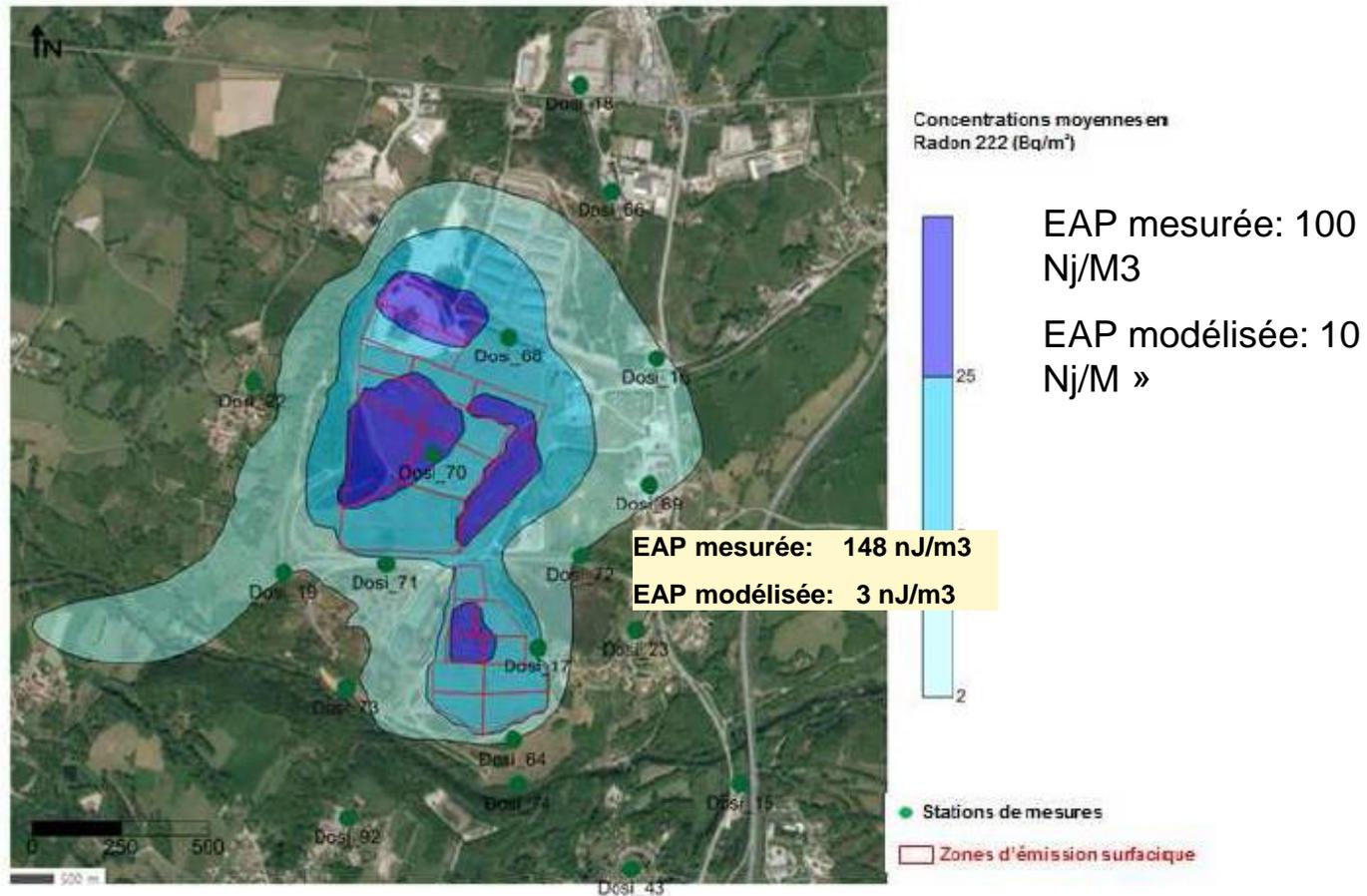


Figure 10 : Isocontours des concentrations horaires moyennes en <sup>222</sup>Rn (Bq/m<sup>3</sup>)

# Site de Bellezane: Isocontours concentrations Rn222

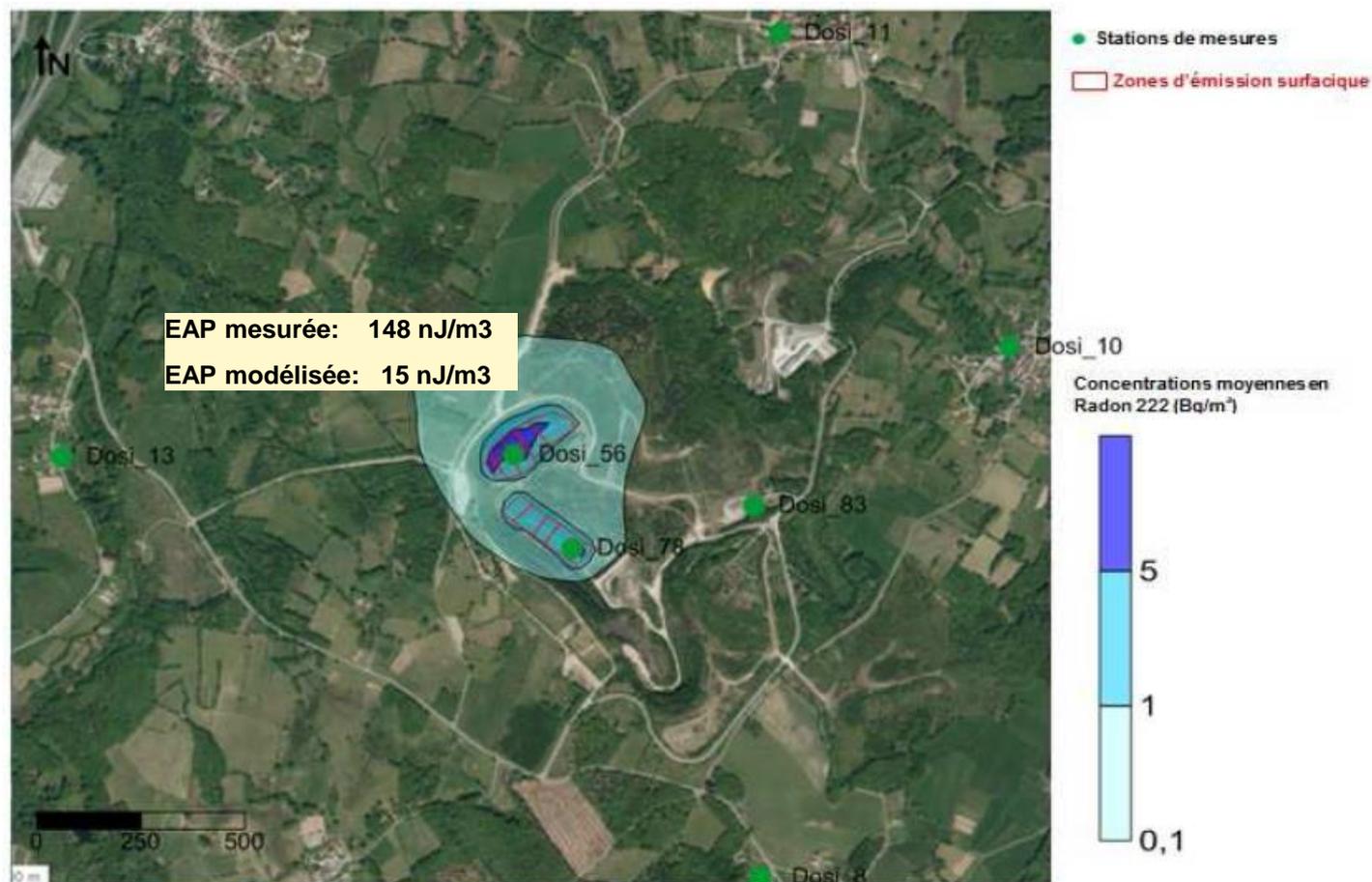


Figure 9 : Isocontours des concentrations horaires moyennes en <sup>222</sup>Rn (Bq/m<sup>3</sup>)

# Conclusion : comparaison résultats modélisation/ surveillance

- ▶ **Quote part du radon provenant du stockage (exhalation traduite en EAP ajoutée) par rapport au bruit de fond (sur site) :**
  - ▶ Gueugnon : 31 à 87 %
  - ▶ Lodève : < 1 à 3,5 %
  - ▶ Ecarpière : < 1 à 12 %
  - ▶ Bellezane : < 1 à 10 %
  - ▶ Lavaugrasse + Brugeaud : 2 à 51 %
- ▶ **Quote part du radon provenant du site (modélisation EAP ajoutée dans l'environnement) par rapport au bruit de fond (dans l'environnement)**
  - ▶ Gueugnon : 2 à 12 %
  - ▶ Lodève : < 1 %
  - ▶ Ecarpière : <1 à 2 %
  - ▶ Bellezane : < 1%
  - ▶ Lavaugrasse + Brugeaud : < 1 à 7%
- ▶ **Impact des sites sur l'environnement très faible**
- ▶ **Les différentes mesures réalisées au niveau des points de surveillance traduisent essentiellement la variabilité du bruit de fond naturel**
- ▶ **L'étude montre que les couvertures mises en place lors du réaménagement sont appropriées et suffisamment efficaces**

# Merci pour votre attention

