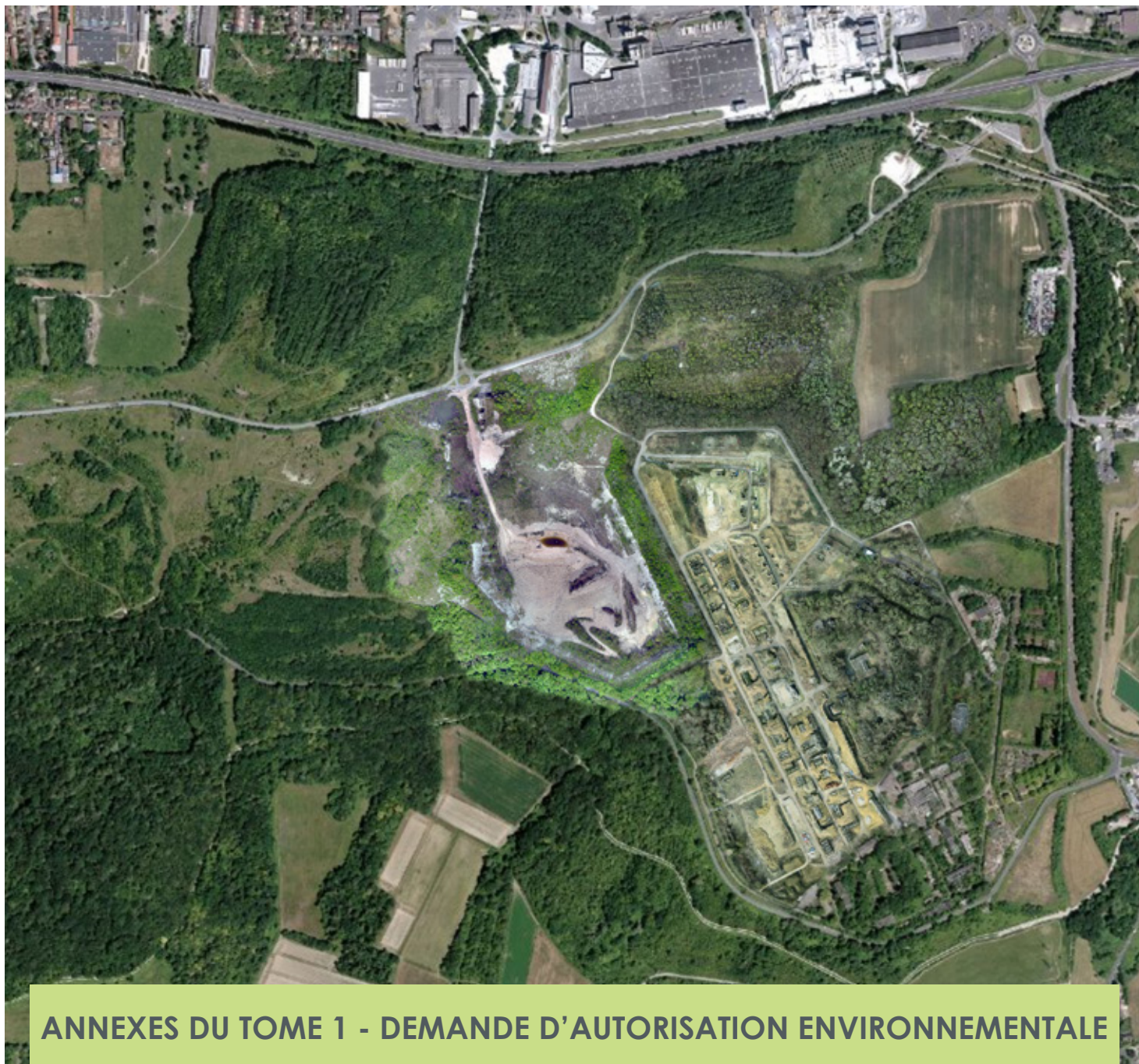


DOSSIER D'AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE

Carrière de gypse de Vaujours - Guisy
sur les communes de Vaujours et de Coubron en Seine-Saint-Denis (93)



ANNEXES DU TOME 1 - DEMANDE D'AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE
PARTIE 5.2

TABLE DES MATIÈRES

ANNEXES DE LA DEMANDE D'AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE

ANNEXES PARTIE 1

ANNEXE 1 - Extrait Kbis
ANNEXE 2 - Documents de maîtrise foncière
ANNEXE 3 - Bail agricole SAFER
ANNEXE 4 - Mémoire technique
ANNEXE 5 - Procédure « Qualité des Remblais » de la société Placoplatre
ANNEXE 6 - Procédure en cas de déclenchement du portique de détection de radioactivité (GINGER NUDEC)
ANNEXE 7 - Procédure en cas de découverte d'objets contaminés lors de la découverte (GINGER NUDEC)
ANNEXE 8 - Plan de tir
ANNEXE 9 - Avis des maires sur la remise en état

ANNEXE PARTIE 2.1

ANNEXE 10 - Diagnostic radiologique des tas de terres de remblais(Ginger DELEO) Partie 1

ANNEXE PARTIE 2.2

ANNEXE 10 - Diagnostic radiologique des tas de terres de remblais(Ginger DELEO) Partie 2

ANNEXE PARTIE 3

ANNEXE 11 - Dossier d'ouvrage exécuté (EODEX)
ANNEXE 12 - Attestation de dépollution pyrotechnique (EODEX)
ANNEXE 13 - Diagnostic des contrôles radiologiques des canalisations (GINGER NUDEC)
ANNEXE 14 - Proposition de désamiantage (TERBIS)

ANNEXE PARTIE 4

ANNEXE 15 - Dépollution pyrotechnique et sécurisation (PYROTECHNIS)

ANNEXE PARTIE 5.1

ANNEXE 16 - Protocole de suivi radiologique Partie 1

ANNEXE PARTIE 5.2

ANNEXE 16 - Protocole de suivi radiologique Partie 2

ANNEXE PARTIE 6.1 - 6.2 - 6.3

ANNEXE 17 - Rapports de diagnostic pyrotechnique

- **Annexe 16:** Protocole de suivi radiologique - Partie 2

ANNEXE 16 - PROTOCOLE DE SUIVI RADIOLOGIQUE

PARTIE 2

FORT DE VAUJOURS

Projet d'exploitation de carrière de gypse Protocole de suivi radiologique

ROYER, Eric (PLACO)

26/09/2017

ANNEXE 4

Calcul de la dose par inhalation et influence de la composition isotopique issu du Pôle Compétence « Calculs d'impact » du CEA

TRAVAILLEURS

Dans le cas des travailleurs, la dose par inhalation reçue pendant l'opération se calcule par :

$$\text{Dose} = \frac{\text{Conc air} * \text{Act massique} * \text{QR} * \text{durée expo}}{\text{eff masque}} * \text{DPUI}_{\text{inhal}}$$

avec :

- Dose : dose par inhalation, en mSv,
- Concentration air : concentration dans l'air mise en suspension, en g/m³,
- Act massique : activité massique des poussières, en Bq/g,
- QR : débit respiratoire, en m³/h,
- durée expo : durée d'exposition, en heures,
- eff masque : efficacité du masque, ≥ 1,
- DPUI inhal : coefficient de dose par inhalation, en mSv/Bq.

PUBLIC

Dans le cas des personnes du public situées à plus grande distance du site, la dose par inhalation prend en compte la dispersion atmosphérique et se calcule par :

$$\text{Dose} = \text{Qté terre} * \text{mise en suspension} * \text{Act massique} * \text{CTA} * \frac{\text{QR}}{3600} * \text{durée expo} * \text{DPUI}_{\text{inhal}}$$

avec :

- Dose : dose par inhalation, en mSv,
- Qté terre : quantité de terre manipulée, en g,
- mise en suspension : taux de mise en suspension, ≤ 1,
- Act massique : activité massique des poussières, en Bq/g,
- CTA : coefficient de transfert atmosphérique, en s/m³,
- QR : débit respiratoire, en m³/h,
- durée expo : durée d'exposition, en heures,
- DPUI inhal : coefficient de dose par inhalation, en mSv/Bq.

Dans le cas de la démolition des casemates, le CTA est calculé en prenant en compte des conditions météorologiques sont constantes en vitesse et direction pendant les rejets. Toutefois, comme ces travaux durent plusieurs jours, on prend en compte les fluctuations de direction de vent pendant les rejets. Dans les calculs, on a supposé une condition de diffusion faible (atmosphère stable), associée à un vent de 2 m/s, ce qui conduit à des résultats raisonnablement conservatifs dans le cas de rejets émis au niveau du sol ou à faible hauteur.

Dans le cas de dose par inhalation, la présence de pluie laverait le panache de poussière, diminuerait l'activité dans le panache et donc l'impact.

Dans le cas de l'extraction de la terre au-dessus du gisement de gypse ("excavation"), le CTA est calculé en utilisant des statistiques basées sur des données météorologiques

représentatives du site observées sur plusieurs années, c'est-à-dire en prenant en compte la répartition des données météorologiques par direction d'origine, vitesse de vent, stabilité atmosphérique et pluie.

INFLUENCE DE LA COMPOSITION ISOTOPIQUE

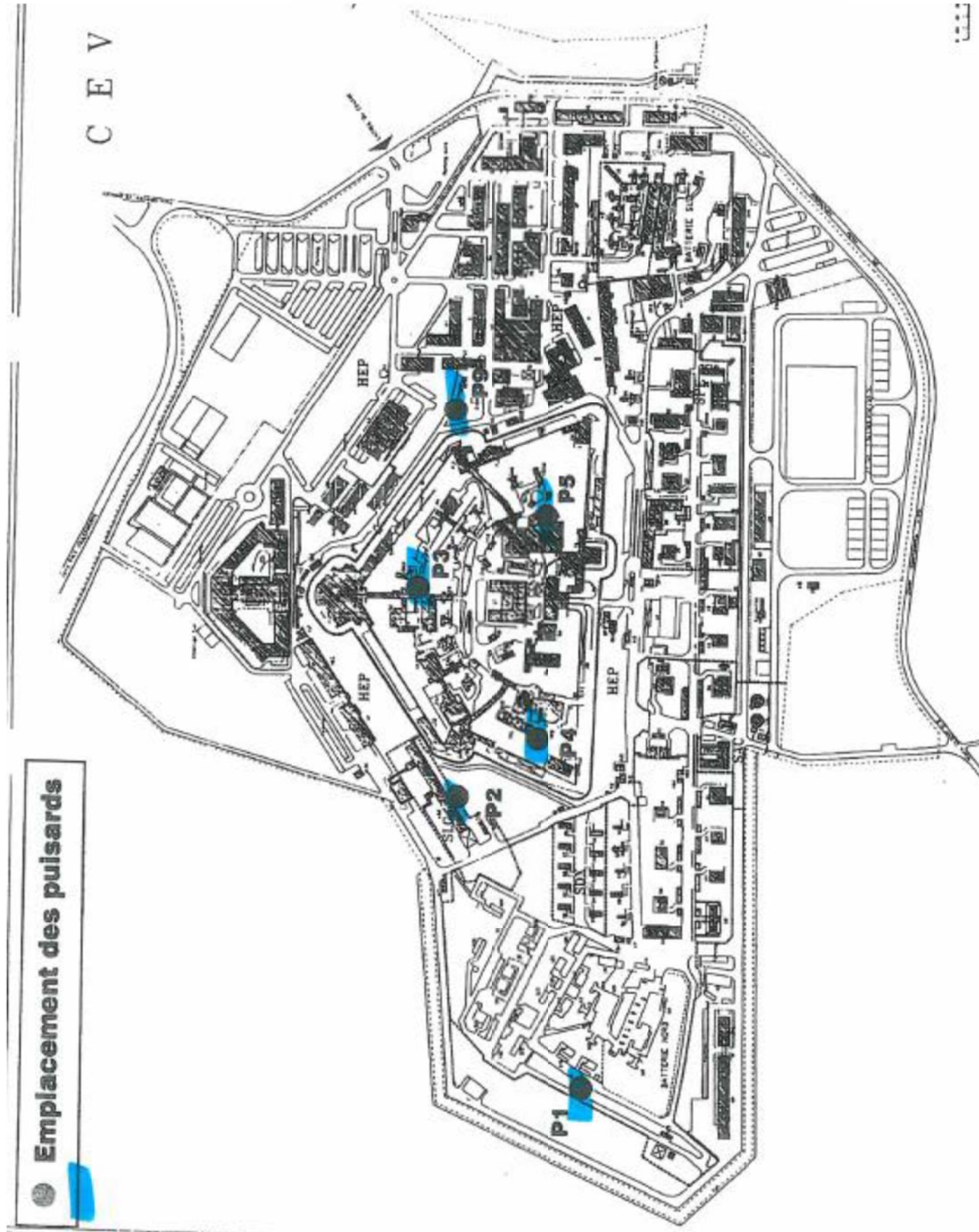
On considère le cas du travailleur chargé de l'écroutage d'une casemate en 150 heures en portant un masque d'efficacité 100 vis-à-vis des aérosols. Il est exposé à une concentration de 20 mg/m3 associée à une activité massique de 1 Bq/g.

			0.45%		0.72%	
isotopes	% activité	Impact (mSv)	% activité	Impact (mSv)	% activité	Impact (mSv)
U234	45.14%	1.93E-04	31.69%	1.34E-04	50.97%	2.16E-04
U235+	2.14%	8.21E-06	1.64%	6.29E-06	1.93%	7.41E-06
U238+	52.21%	1.89E-04	66.67%	2.41E-04	47.10%	1.70E-04
Total	-	3.91E-04	-	3.82E-04	-	3.94E-04

On constate que la modification de composition isotopique modifie très peu l'impact, qui varie ici de 0,38 µSv à 0,39 µSv, soit 3% au plus.

ANNEXE 5

Carte des puits du Centre d’Etudes de Vaujours (CEV)



ANNEXE 6

Extrait de la Procédure d'alerte Portique

Référence : RNGSIF00891

3 Fonctionnement du boîtier du portique

La **Figure 1** présente les détecteurs du portique et le boîtier de fonctionnement.



Figure 1 : Portique de détection de radioactivité (à gauche les détecteurs, à droite, le boîtier)

Les voyants lumineux et l'affichage du boîtier décrivent les situations suivantes :

SITUATION DE FONCTIONNEMENT	VOYANT ET AFFICHAGE
Bon fonctionnement	21/03/2006 09h44m11s En BDF
Présence d'un véhicule	21/03/2006 09h44m11s En Mesure
Anomalie du Bruit de Fond	21/03/2006 09h44m11s En BDF Anomalie 1
Défaut technique (différents ordres)	21/03/2006 09h44m11s En BDF Porte ouv. 21/03/2006 09h44m11s En BDF Cont. Pres 21/03/2006 09h44m11s En BDF Cont. Voie X
Alarme radiologique	21/03/2006 09h44m11s En BDF Alarme 1

4 Fonctionnement habituel

Tous les camions qui sortent du site passent obligatoirement à travers le portique camion (trajet jaune – voir Figure 2 ci-dessous).

Si le chargement ne génère pas d'alarme, le camion suivra le trajet vert après avoir signalé sa sortie de site au poste de contrôle.



Figure 2 : Plan de la zone de contrôle et de la zone dédiée à la sécurisation des chargements suspects

5 Procédure à suivre en cas de déclenchement du portique

5.1 Actions à réaliser avant l'intervention de NUDEC

En cas de mesure anormale, le voyant rouge du portique s'allume et un buzzer retentit. Un report va être installé dans le poste de contrôle. En parallèle, un message est envoyé au prestataire en charge du suivi de niveau 1 et à Placoplatre. **L'agent de sécurité relève les données inscrites sur l'écran et prend en charge le conducteur du camion** pour le diriger vers l'aire de stationnement dédiée (trajet orange sur la Figure 2). Il prévient ensuite le conducteur de travaux ou le coordinateur de travaux qui engageront les actions suivantes :

- 1) Effectuer un deuxième passage, puis un troisième si l'alarme ne se déclenche pas au deuxième passage,
- 2) Si l'alarme est confirmée, questionner le conducteur sur un éventuel traitement médical récent par des matières radioactives. Si tel est le cas, un nouveau passage est effectué avec un autre chauffeur si réalisable,
- 3) Si l'alarme est confirmée, placer le chargement dans la zone dédiée avec un périmètre de sécurité à 500nSv.h^{-1} (voir figure 2) et attendre l'arrivée de l'agent NUDEC via le conducteur de travaux (alarme confirmée ou non).

5.2 Actions immédiates à réaliser par l'intervenant NUDEC

L'intervenant NUDEC suivra la procédure suivante :

Assisté par le conducteur du camion et le conducteur de travaux si besoin, l'agent NUDEC effectuera les actions suivantes :

- 1) Vérification que la benne est maintenue couverte et que le chargement est tenu à l'abri de la pluie, du vent, etc.,
- 2) Vérification de la mise en place d'un périmètre de sécurité autour du camion avec un débit d'équivalent de dose au maximum à 500nSv.h^{-1} en limite de la zone sécurisée,
- 3) Vérifier les informations indiquées par le portique et les récupérer,
- 4) Analyser « à chaud » l'origine du déclenchement :
 - o si déclenchement dû à une cause autre qu'une pollution potentielle : enregistrer l'évènement,
 - o si l'alarme est de nature radiologique ou en cas de doute, informer immédiatement la PCR, le niveau 2 et le chargé de développement des carrières PLACOPLATRE. En fonction des premiers constats, donner les premières consignes de sécurité dans l'urgence si nécessaire.

Le conducteur de travaux devra s'assurer également de la mise en sécurité du chargement en attendant l'intervention de NUDEC.

Les valeurs remarquables :

- **le bruit de fond (BDF)** : valeur à relever à une distance suffisante de toute source de rayonnement. En l'occurrence, le BDF est pris en continu par le portique. Lors des mesures avec radiamètre, le BDF sera pris dans une zone sans influence d'une source potentielle. Il est également relevé dans la zone portique en amont de manière régulière,
- **Le seuil d'alarme** : seuil à partir duquel le portique déclenche l'alarme induisant l'interdiction de sortie de site du camion. Pour le portique, le seuil d'alarme est fixé à 2 fois le BDF (environ 6100 c.s^{-1} pour un bruit de fond 3050 c.s^{-1}),
- **débit d'équivalent de dose** à $0,5\text{ }\mu\text{Sv.h}^{-1}$ au plus pour la mise en place du périmètre de sécurité. Idéalement au plus proche de la benne (camion) dans le cadre d'une démarche ALARA (aussi bas que raisonnablement possible). Si un DeD très important est relevé, un zonage radiologique sera établi avec élargissement du périmètre et interdiction d'accès.

Conformément à la réglementation, PLACOPLATRE doit déclarer un Evènement Significatif pour la Radioprotection (ESR) si un des critères du guide ASN [12] est identifié lors de l'analyse du déclenchement.

L'ensemble des mesures effectuées seront tracées dans un classeur de chantier.

5.3 Actions à réaliser *a posteriori* par l'intervenant NUDEC

Suite aux premières actions menées, l'intervenant NUDEC devra :

- 6) Analyser à froid l'origine du déclenchement (vraie ou fausse alarme) et soumettre au niveau 2 ;
- 7) Evaluer les niveaux de la pollution éventuelle et les niveaux d'exposition potentiels,
- 8) Proposer les mesures correctives,
- 9) Mettre en œuvre les instructions éventuelles de la PCR.

NB: il est de la responsabilité de la PCR du site auprès de PLACOPLATRE de déclarer un Evènement Significatif en Radioprotection (ESR) si un critère du guide le nécessite.

FICHE EVENEMENT

DATE :

HEURE :

ALARME VEHICULE SORTANT : ☐

ALARME VEHICULE ENTRANT : ☐

TYPE DE VEHICULE

MARQUE :

N° IMMATRICULATION :

NOM DU CHAUFFEUR :

SOCIETE :

ANOMALIE DETECTION : ☐

ANOMALIE TECHNIQUE : ☐

APPEL XXX : ☐

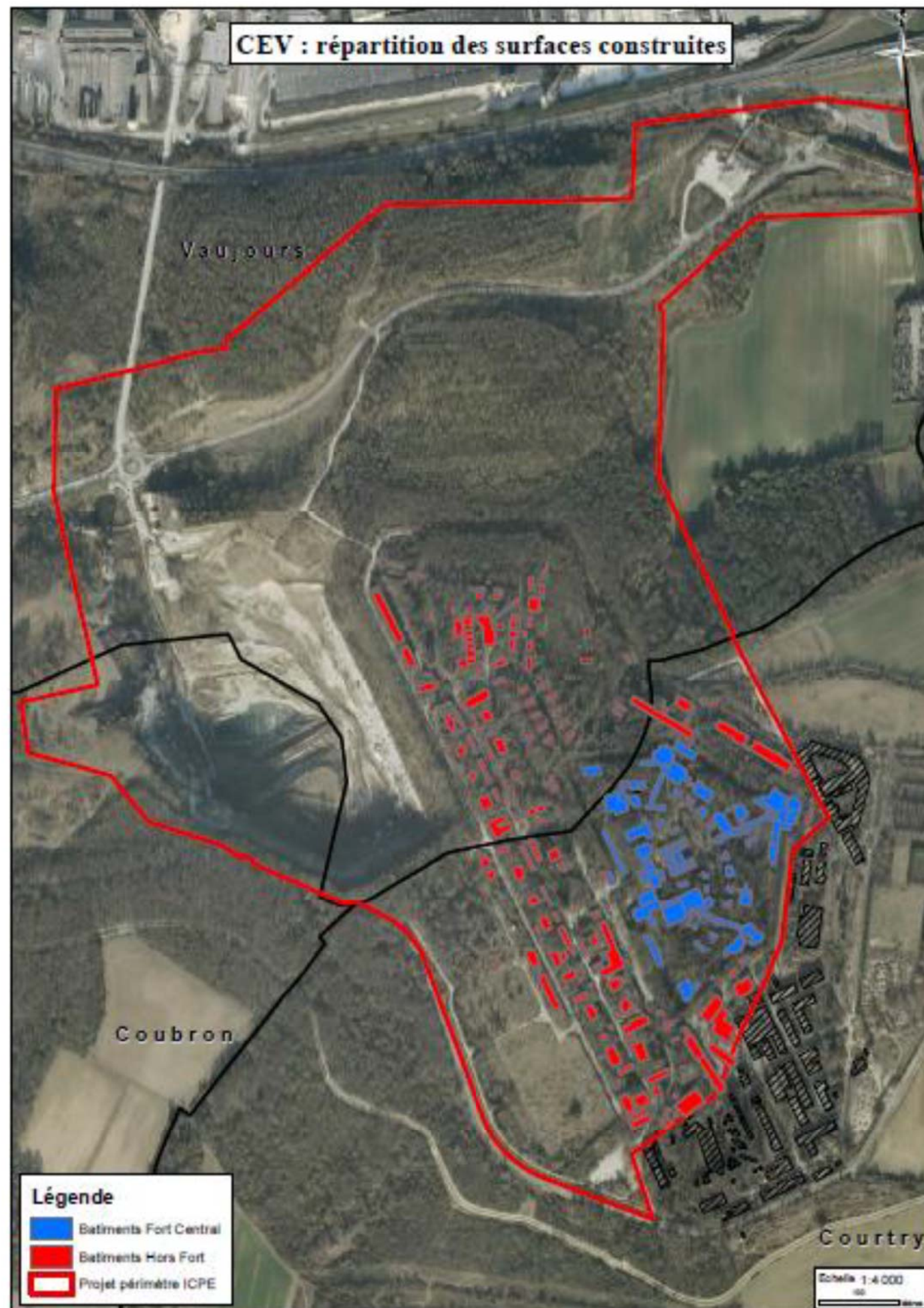
APPEL XXX : ☐

Prise en compte et visa de l'agent xxx :

Archivage :

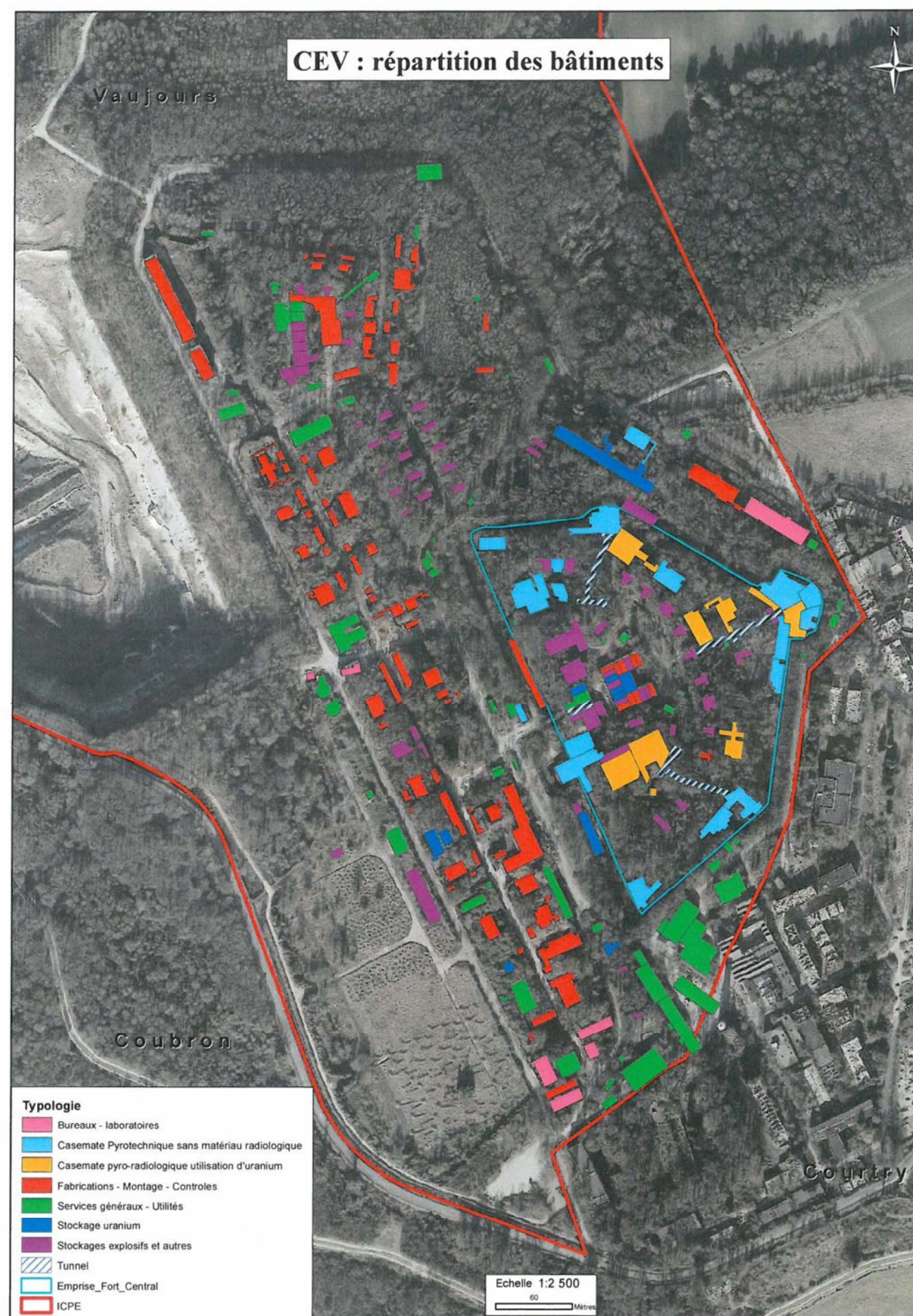
ANNEXE 7

Répartition des surfaces construites du Centre
d'Etudes de Vaujourn (CEV)



ANNEXE 8

Répartition des bâtiments par fonction



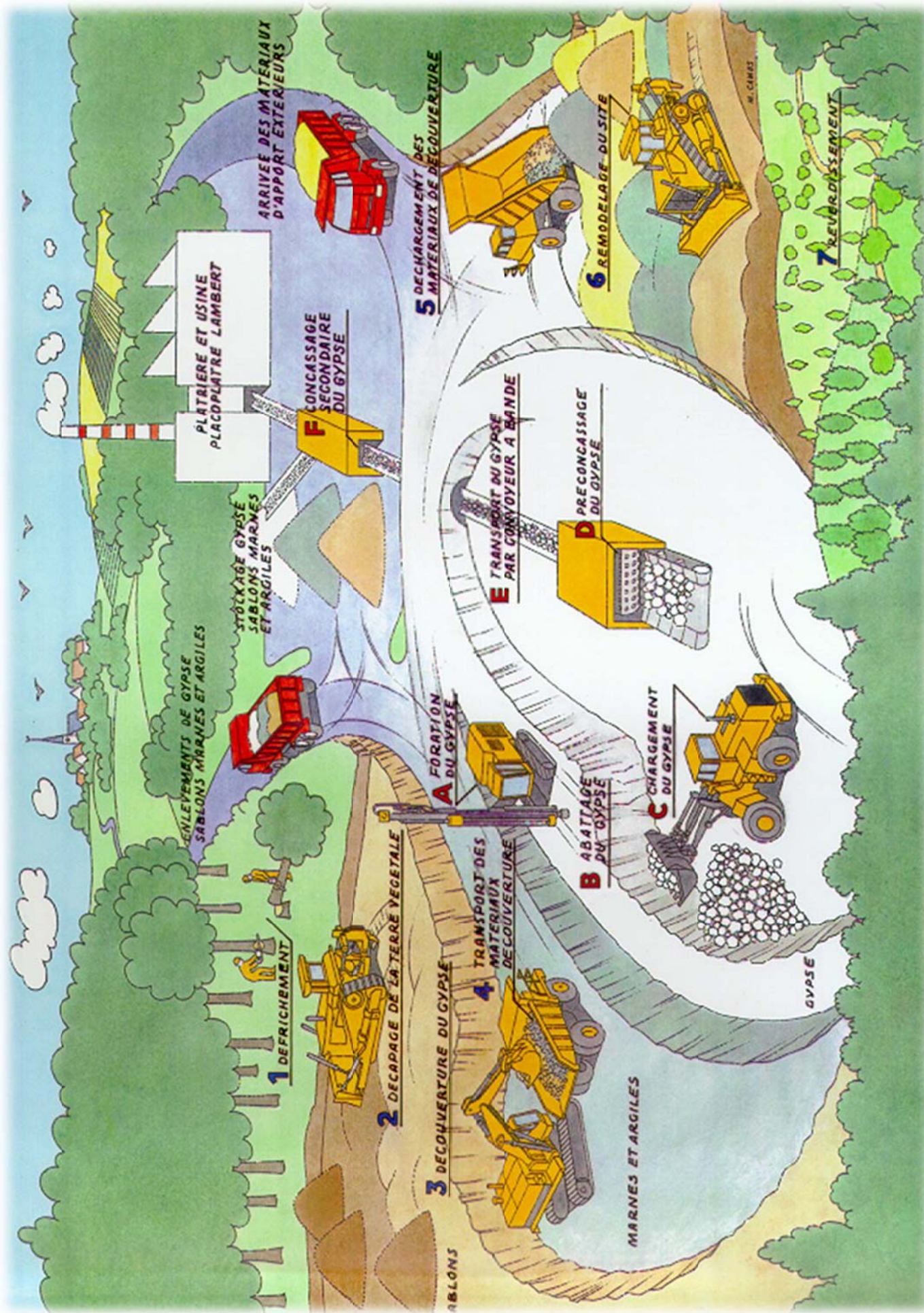
ANNEXE 9

Implantation de principe des balises
de prélèvement atmosphérique



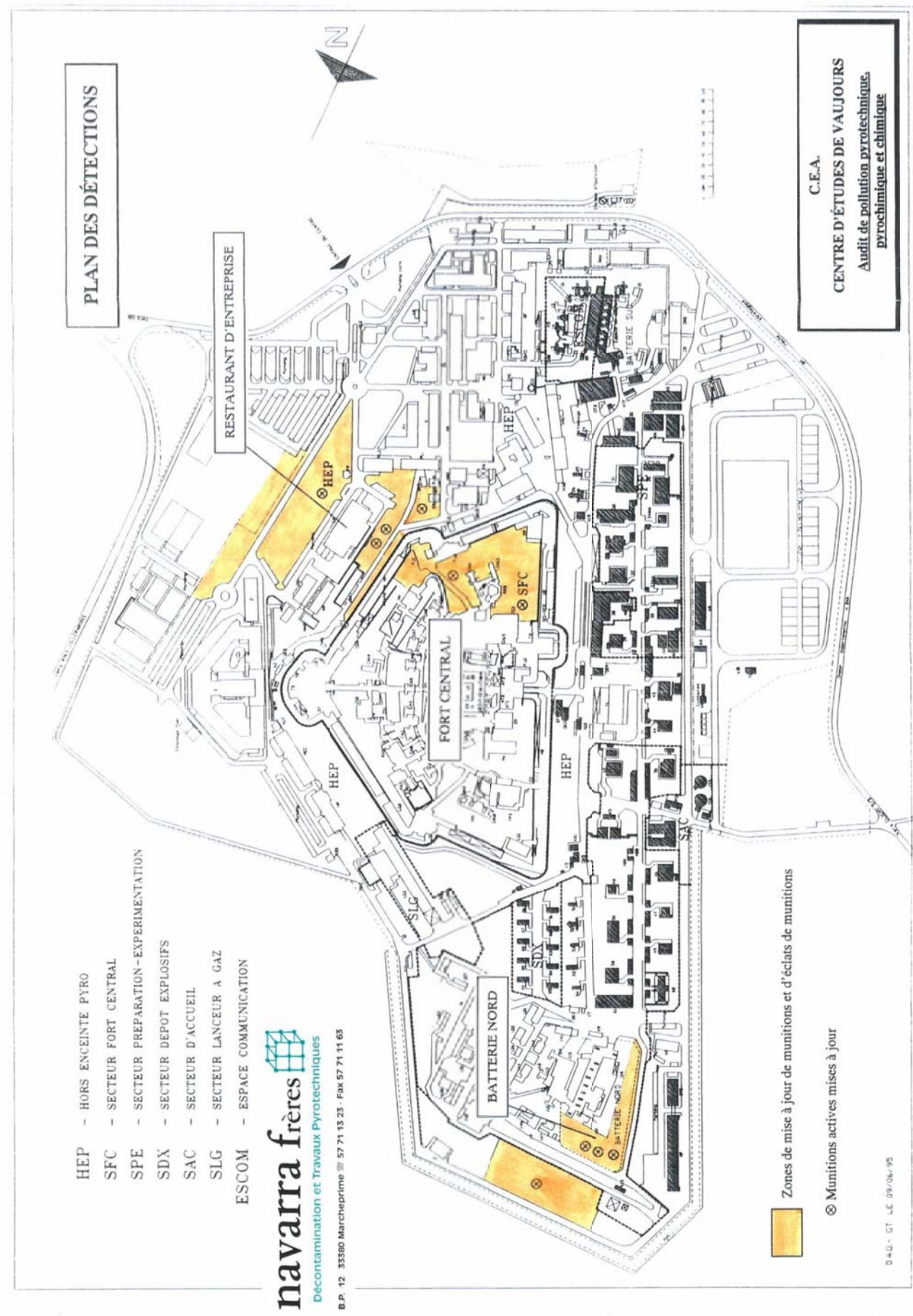
ANNEXE 10

Exploitation d'une carrière à ciel ouvert



ANNEXE 11

Zones de mise à jour des munitions
et des éclats de munitions



ANNEXE 12

Ecoulement de la nappe de Brie

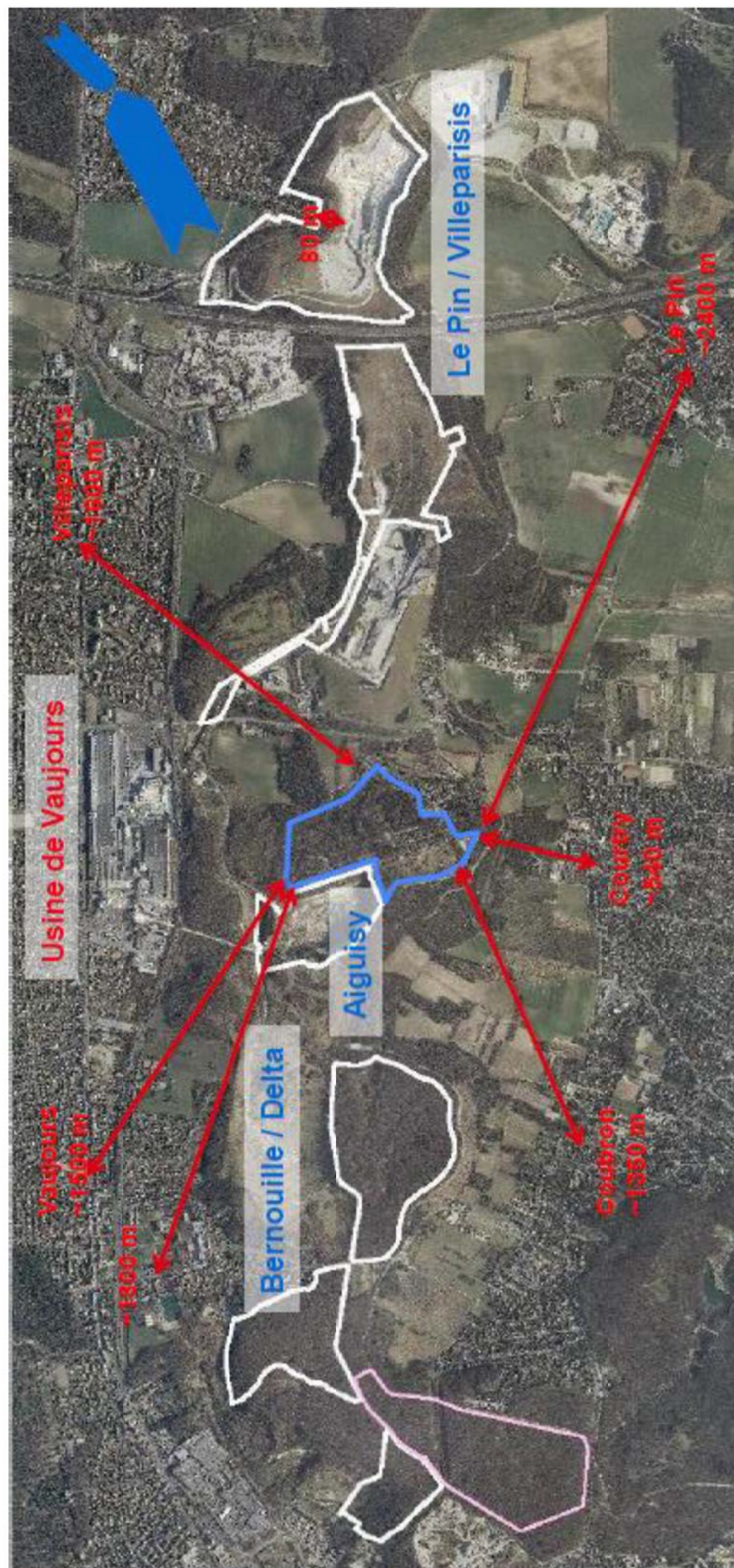
Carte extraite du rapport BURGEAP 2002 « Suivi hydrogéologique et géochimique –
CEV »



ANNEXE 13

Distance du Bois de Guisy aux centres urbains

Photo aérienne de février 2012



ANNEXE 14

Consignes de nettoyage de la cuve de récupération des déchets et effluents de tir du poste TC du fort central

CENTRE D'ETUDES DE VAUJOURS
GROUPE DE PROTECTION CONTRE LES RAYONNEMENTS

N° PR/55/83

Le 7 Avril 1983

CONSIGNES DE NETTOYAGE DE LA CUVE DE
RECUPERATION DES DECHETS ET EFFLUENTS DE TIR
DU POSTE T.C. DU FORT CENTRAL

PR/55/83

- 1 -

I RAPPEL DES OBJECTIFS

II DISPOSITIONS GENERALES

II.1 : EVACUATION DES DECHETS ET PREDECONTAMINATION DES CUVES

II.2 : CONDITIONNEMENT DES DECHETS

II.2.1 : DECHETS INCOMPRESSIBLES

II.2.2 : EFFLUENTS LIQUIDES

II.2.3 : DECHETS COMPRESSIBLES

II.3 : MISE EN PLACE D'UNE ZONE DITE "ZONE CONTROLEE"

III TRAVAUX PRELIMINAIRES

IV EVACUATION DES DECHETS DE LA CUVE

II.1 : PREPARATION DU CHANTIER

II.1.1 : APPROVISIONNEMENTS

II.1.2 : EQUIPEMENTS

II.2 : INTERVENTIONS EN CUVE

II.2.1 : PRINCIPE GENERAL

II.2.2 : SURVEILLANCE MEDICALE

II.2.3 : DEBUT DE POSTE

II.2.4 : EXTRACTION DES DECHETS

II.2.5 : FIN DE POSTE

V STOCKAGE DES FUTS

VI PREDECONTAMINATION

VII REPLI DU CHANTIER

PR/55/83

- 2 -

I RAPPEL DES OBJECTIFS :

Depuis l'origine du CEV, les eaux de lavage de la chambre de tir après les expérimentations avec de l'Uranium ont été envoyées dans un ensemble de cuves souterraines munies d'un dispositif de décantation localisé sous les salles ①, ② et ③ sur le plan joint en annexe.

Actuellement, le système de décantation est plein de gravats et objets divers contaminés. La concentration en Uranium a été évaluée à :

- 0,4 % pour les gravats

- 1,35 % pour les boues

L'évacuation des déchets et la prédecontamination des cuves devront être réalisées.

II DISPOSITIONS GENERALES :

II.1 - EVACUATION DES DECHETS ET PREDECONTAMINATION DES CUVES :

Seront réalisées par la Société des Travaux en Milieu Ionisant (S.T.M.I.) sous contrôle du GPR/CEV.

Ces travaux s'effectueront en tenue non ventilée et masque avec alimentation en air respirable et ventilation forcée de l'air ambiant de la cuve.

II.2 - CONDITIONNEMENT DES DECHETS : On distingue trois types de déchets :

II.2.1 - Les déchets incompressibles = gravats, morceaux de miroirs, boues, etc... Ils seront conditionnés en fûts réglementaires et évacués vers le PEN.

II.2.2 - Les effluents liquides : les eaux de lavage seront filtrées puis rejetées dans les égouts. Les filtres contaminés seront conditionnés avec les déchets compressibles.

.../...

PR/55/83

- 3 -

II.2.3 - Les déchets compressibles : tenues vinyle, gants, etc...

Ils seront également conditionnés en fûts réglementaires et envoyés sur un site de stockage de l'ANDRA.

II.3 - MISE EN PLACE D'UNE ZONE DITE "ZONE CONTRÔLÉE"

Pendant la durée des travaux (durée prévisionnelle 4 à 5 semaines à compter du 13 Avril 1983), l'emprise des postes de Tir T.C.1 et T.C.2 y compris les voies d'accès (voir plan annexe zone hachurée) sont soumis à la réglementation de la zone contrôlée.

En conséquence, la porte d'accès au poste de Tir P.J.3, par la cour intérieure du Fort Central est condamnée pendant la durée des travaux.

Tout accès à la zone contrôlée précédemment définie est soumis à autorisation du GPR/CEV.

III TRAVAUX PRELIMINAIRES :

A la suite de la réunion du 14 Décembre 1982 à laquelle participaient S.T.M.I. et IST/NE - SMT/LAM, FLS-GPR pour le CEV - Certains préparatifs ont été réalisés :

- Elargissement du trou d'accès à la cuve située dans le local ① (voir plan annexe) afin de permettre le passage simultané des fûts de stockage des déchets incompressibles (contenance 200 l) et de la gaine de ventilation.

- Installation d'un palan de relavage des fûts et, éventuellement des équipes d'intervention en cas d'incident.

- Mise en oeuvre des équipements électriques nécessaires à la manutention et à la ventilation et de l'éclairage basse tension.

- Pose d'un poste téléphonique.

Ces divers travaux ont été réceptionnés contradictoirement entre la S.T.M.I. et le CEA/CEV, le 30 Mars 1983.

.../...

PR/55/83

- 4 -

En outre, le GT/CEV a procédé à un examen attentif de l'état de la cuve (voute, murs), afin de circonscrire les risques de chute de moellons sur les équipes d'intervention. Son état a été jugé satisfaisant.

IV EVACUATION DES DECHETS DE LA CUVE :

II.1 - PREPARATION DU CHANTIER : Durée prévisionnelle 3 jours

II.1.1 - Approvisionnement

- GPR/CEV

- o Caravane vestiaire - douche : décontamination des équipes d'intervention (local 5)
- o Unité de ventilation : local 1 près de la trappe d'accès à la cuve.
- o Alimentation en air respirable
- o Dispositif de cerclage des fûts sur les palettes de manutention
- o Fûts de stockage des déchets compressibles (local 3)
- o Étagères de rangement (local 3)
- o Dispositif élue-fûts
- o Deux projecteurs avec trépieds
- o Équipement mobile radio
- o Générateur d'eau sous pression KARCHER
- o Lampes-Torches portatives
- o Tenues d'intervention pour la FLS
- o Alimentation en air autonome type "SPIRATOM"
- o Dispositif d'alerte sonore comprenant une sonnette (alimentation 24 V) raccordée à un "coup de poing" par câble d'une longueur de 20 m

.../...

PR/55/83

- 5 -

- ME/CEV :

- o 2 échelles métalliques de hauteur 3,50 mètres à 4 mètres
- o 3 baladeuses équipées de lampes 24 volts et de câble d'une longueur de 20 mètres
- o 15 palettes (chaque palette assure le stockage de 4 fûts)

- FLS/CEV :

- o 2 harnais de sécurité
- o 2 cordages de secours de longueur minimum 10 mètres
- o 1 extincteur (local 1)
- o 1 brancard

- RESPONSABLE DU FORT CENTRAL/CEV :

- o Système de manutention des fûts

- S.T.M.I. :

- o 50 fûts de stockage des déchets incompressibles (cour 4)
- o Outils de chargement des fûts (local 3)
- o Habillement d'intervention nécessaire aux équipes S.T.M.I.
 - tenues vinyle, gants - bottes, masques (local 3)
 - linges de corps - peignoirs - serviettes (caravane - local 5)
- o 2 prolongateurs d'air (longueur 10 mètres)

II.1.2 - Equipements :

- GPR/CEV

- o Mise en place de moyens de contrôle atmosphérique

Local 1 : 1 APA 14
1 IPAB 71 (sondes et scintillateurs)

Local 2 : 1 APA 14 - 1 CMPT 400

Local 4 : 1 APA 1

caravane : 1 MIP 10 (sondes et scintillateurs)

Les filtres seront relevés journalièrement et contrôlés par le GPR/CEV.

.../...

PR/55/83

- 6 -

- S.T.M.I.

- o Confection d'un sas par panneau de vinyle localisant la zone d'accès à la cuve (local ①)
- o Protection par panneau de vinyle des équipements des locaux ② et ③
- o Mise en oeuvre de l'installation "air respirable" et de l'unité de ventilation
- o Mise en place du dispositif d'éclairage mobile dans chaque cuve (protection et fixation des câbles)
- o Essai de descente et de relevage des fûts
- o Mise en place du dispositif d'alerte sonore: "coup de poing" descendu en cuve - la sonnette dans le local ①.
[Protection et fixation des câbles]
- o Mise en place d'une corde de secours dans les cuves par les deux trappes d'accès

Un contrôle systématique des divers équipements sera effectué, conjointement par la S.T.M.I. et le GPR/CEV.
(plan de relevage, éclairage, air respirable, ventilation de la cuve)

Un exercice de sauvetage sera simulé en présence de la FLS/CEV, SMT/CEV, l'IST/NE, et de l'ICST

II.2 - INTERVENTIONS EN CUVE :

II.2.1 - Principe général : L'équipe S.T.M.I. est composée de 4 personnes minimum.

Deux hommes interviennent en cuve soumise à une ventilation forcée, équipés d'une tenue non ventilée, avec masque alimenté en air respirable et d'un harnais de sécurité. Ils sont placés sous contrôle permanent de deux agents S.T.M.I. en surface, équipés d'une tenue "TIVEX" non tissée et masquée. Un agent GPR/CEV surveille en permanence les opérations, il dispose d'un équipement mobile radio en liaison avec les locaux GPR/CEV et FLS.

La durée d'un poste est limitée à 1h30 à raison de deux postes par journée.

.../...

PR/55/83

- 7 -

II.2.2 - Surveillance médicale

- Les agents de la S.T.M.I. se présenteront à l'infirmier surplace, le premier jour des travaux, munis de leur carte DADR ou d'une attestation valide indiquant leur aptitude DA, et au port du masque filtrant et de la tenue non ventilée.
- Au début et fin de chaque poste un infirmier procédera au bilan médical des agents descendant en cuve. Une présence permanente ne pouvant être assurée, prévenir éventuellement de la fin de poste par téléphone.
- En cas d'incident prévenir l'infirmier par téléphone, en cas d'accident alerter le PC téléalarme, l'ambulance passant prendre l'infirmier. Une relation écrite, succincte, sera faite au SMT des incidents survenus au cours des travaux.
- Le matin du début des travaux, les participants se rendront au IAM pour effectuer un premier prélèvement urinaire. Ensuite chaque fin de semaine, le vendredi après déjeuner, ils se rendront au IAM pour procéder au prélèvement urinaire hebdomadaire.
- En cas d'anomalie dans les résultats le GPR sera informé, les intéressés seront prévenus, les résultats étant transmis de toutes façons systématiquement au service médical qui les suit habituellement.

II.2.3 - Début de poste

- o Demande d'un infirmier au SMT
- o Déshabillage du personnel d'intervention à la caravane
- o Contrôle du SMT
- o Habillage : sous-vêtements coton, chaussettes, tenue TIVEX non tissée, mocassins, pré-gants
- o Préparation du petit outillage
- o Déplacement vers lieux d'opérations (local ③)
- o Complément d'habillage: tenue vinyle - bottes - gants de manutention, harnais, masque

.../...

PR/55/83

- 8 -

PR/55/83

- 9 -

- o Contrôle du remplissage des bouteilles d'air respirable
 - 2 bouteilles pleines sont en place
 - 2 bouteilles sont en réserve
- o Essai du masque et du circuit d'air respirable
- o Contrôle de la présence d'une échelle à chaque accès des cuves (locaux ① et ②)
- o Vérification de la présence des lampes-torches portatives près de chaque échelle (en surface)
- o Contrôle du bon fonctionnement de l'éclairage, de la ventilation, du palan
- o Mise en fonctionnement des dispositifs de prélèvements atmosphériques (en début de journée)
- o Contrôle des "SPIRATOM"
- o La FLS/CEV, le Responsable du Fort Central et le SMT/CEV sont avertis du début des opérations par l'agent GPR
- o Essai de la liaison radio avec le bâtiment P.G.1.
- o Ouverture des trappes d'accès aux cuves
- o Mise en place des échelles
- o Descente des 2 agents S.T.M.I. dans la cuve par l'échelle située dans le local ②
- o 1 agent GPR et 2 agents S.T.M.I. (au minimum) surveillent en surface les opérations
- o Vérification de la position des cordes de secours près des échelles d'accès aux cuves
- o Essai du dispositif d'alerte sonore "coup de poing" et sonnettes

II.2.4 - Extraction des déchets

Règle à observer impérativement

- Un seul fût est descendu en cuve.
- o Préparation du fût en surface : habillage vinyle extérieure, sac vinyle (épaisseur 30/100) à l'intérieur.

.../...

- o Accrochage du lève-fût au palan
- o Fixation du fût au lève-fût
- o Descente du fût ouvert dans la fosse et réception du fût par l'équipe dans la fosse
- o Remonte et décrochage du lève-fût
- o Humidification des déchets afin de limiter les risques d'aérosol
- o Chargement du fût (100 Kg environ). Une pesée sera effectuée sur le premier fût afin de déterminer le niveau du chargement
- o Fermeture par bande adhésive, type tarlatane, du sac vinyle intérieur
- o Descente du lève-fût avec le palan
- o Fixation du fût et remonte en surface après mise en position protégée des agents dans la cuve
- o Déshabillage et fermeture du fût avant dépose sur palette
- o Reprise du fût pour dépose sur palette

II.2.5 - FIN DE POSTE

Règle à respecter impérativement

Aucun fût ne doit rester dans la cuve après remonte du personnel, sauf incident.

- o Remonte de l'équipe d'intervention par l'échelle située dans le local ②
- o Prédéshabillage dans le local ③. La tenue vinyle, les gants, les bottes, le masque sont enlevés
- o Les déchets compressibles sont conditionnés dans les fûts GPR. La protection intérieure et extérieure des fûts est identique à celle des fûts descendus en cuve
- o Arrêt de l'éclairage, de la ventilation, de l'alimentation en air respirable
- o Les échelles sont remontées et décontaminées éventuellement

.../...

PR/55/83

- 10 -

- o Fermeture des trappes d'accès aux cuves
- o Nettoyage du sas
- o En fin de journée :
 - Arrêt des appareils de prélèvements atmosphériques (en fin de journée)
 - Coupure de l'interrupteur général sur l'armoire électrique
 - Dégagement du chantier afin de ne pas entraver les interventions éventuelles FLS
- o Le SMT, la FLS et le Responsable du Fort Central sont avertis de la fin de poste par l'agent GPR
- o Les agents S.T.M.I. et l'agent GPR se rendent à la caravane
- o Douche
- o Contrôle SMT

V STOCKAGE DES FÛTS

L'ensemble de ces opérations est réalisé par le GPR/CEV

- o Après déshabillage et fermeture du fût chargé, un frottis avec support type KLEENEX sera pratiqué sur chaque fût après sa dépose sur palette
- o Chaque fût est numéroté - daté et l'origine du chargement repéré
- o Chaque palette supporte au maximum 4 fûts
- o Les fûts sont brêlés sur la palette par cerclage
- o Contrôle des frottis
- o Transport de la palette par élévateur vers le lieu de stockage temporaire (dépôt U.S - Fossés du Fort Central) dont le GPR/CEV assurera le balisage

VI PREDECONTAMINATION

Principes généraux : Les conditions d'intervention sont identiques à celle de l'évacuation des déchets.

PR/55/83

- 11 -

La prédecontamination des cuves sera réalisée par lavage à l'eau sous pression des parois.

La chronologie des opérations est la suivante :

- o Mise en oeuvre du KARCHER (générateur d'eau froide sous pression 70 bars)
- o Décapage de la voute, des murs puis du sol
- o Mise en service de l'hydrocollecteur. L'eau sera rejetée dans le regard de la cour (d). A cet effet, le regard sera équipé de filtre 25 microns. Contrôle des rejets par GPR/CEV
- o Assèchement de la fosse soit par :
 - pelles à eau
 - aspirateur à eau
 - percement du muret de décantation et rejet des eaux dans le puisard de la cuve localisée sous la pièce (e)
- o Contrôle du niveau résiduel de contamination par le GPR/CEV

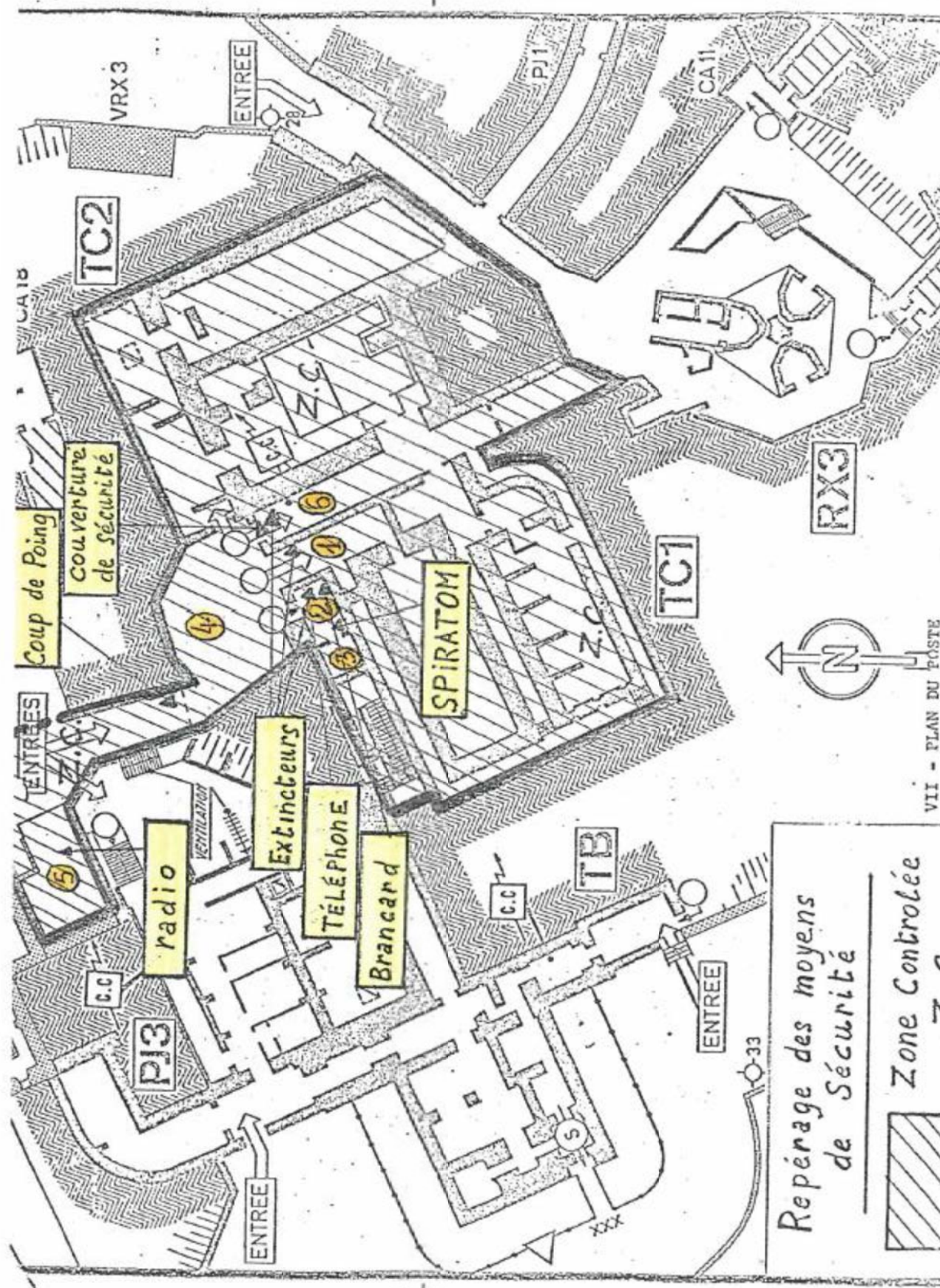
VII REPLI DU CHANTIER

La S.T.M.I. assurera :

- o Le démontage du sas et des protections vinyle
- o La décontamination du matériel employé : lève-fût, tuyaux, câbles, dispositifs d'éclairage, palan, etc...

Une réunion de fin de chantier clôturera les opérations.

/



ANNEXE 15

Plan des postes de tirs et zones historiques de points singuliers et de transit



ANNEXE 16

Masses d'uranium expérimentées au CEV

Masses d’uranium expérimentées au CEV

La masse totale correspondant à l’ensemble des expérimentations, dans des postes de tirs et à l’air libre, dans l’enceinte du Fort Central est estimée à 1200 kg. Cela correspond à environ 2000 expérimentations dont 1200 à l’air libre à RX3 et 800 en potes de tirs (voir dossier d’abandon-Volume 4)

Les documents d’archive du CEA fournissent la quantité exacte d’uranium expérimenté à partir de septembre 1964, à savoir 526,2 kg. La répartition par poste est donnée dans le tableau ci-après.

Avant 1964, la mémoire des anciens du CEV a permis d’estimer l’activité des différents postes de tir, le nombre d’expérimentations et les masses d’uranium mises en jeu. Au total, les masses expérimentées avant 1964 sont estimées à 670 kg. Le détail est donné dans le tableau.

La masse totale d’uranium expérimentée dans le Fort Central du CEV est donc de 1196,2 kg arrondie à 1200 kg.

Poste de tir ou cuve	Période d'utilisation pour l'uranium	Nombre d'expériences avec U avant 1964 estimation selon mémoire des anciens	U expérimenté avant 1964 estimation selon mémoire des anciens (kg)	U expérimenté après sept. 1964 (kg)
CD	1958-1964	Quelques expériences	3,0	2,0
CM	1960-1964	Quelques expériences	3,0	1,0
LG3 (Cuve CAGL)	1980-1991	Aucune (LG3 non construit)	0,0	3,5
OS2	1963-1964	Des dizaines	30,0	0,0
TC1 et TC2	1956-1982	Des centaines	100 ,0	464,8
PH Droite	1960-1970	Des dizaines	30,0	0,7
PH Gauche	1960-1970	Quelques expériences	4,0	13,7
RX1	1962-1991	Des centaines	100,0	40,1
RX3	1959-1976	Plus d’un millier	400,0	0,4
Sous total			670,0	526,2
TOTAL			1196,2	

Nombre d’expérimentations avec uranium et masses mises en jeu

Les dates indiquées dans le tableau pour le début d’utilisation des postes de tir avec expérimentations d’uranium, correspondent aux premiers travaux d’infrastructure recensés pour les casemates correspondantes. Les dates de fin d’utilisation correspondent aux dernières expériences avec uranium répertoriées dans les documents du CEA.

Estimation des masses d’uranium expérimentées à l’air libre

Une estimation des masses expérimentées à l’air libre peut être faite en considérant que les premières expérimentations étaient principalement dédiées aux études d’implosion. Le poste RX3, était dédié à des observations radiographiques des implosions. Les chercheurs de cette époque ne disposant pas de moyens de calculs évolués, l’optimum de chaque paramètre physique était déterminé en traçant des courbes de variation de la fonction à optimiser en fonction de ce paramètre, chaque point de ces courbes étant obtenu par une expérience spécifique. A titre d’exemple, il a été retrouvé dans les archives du CEV un rapport faisant état d’une série d’expériences d’implosion à RX3 dans les années 1959-1960. Pour cette étude, il a été utilisé 375 édifices pyrotechniques se décomposant en 255 édifices avec 232 g d’uranium chacun et 120 édifices avec 512 g d’uranium chacun, soit une masse totale de 120,6 kg et une masse moyenne par expérimentation de 320 g. En extrapolant aux 1200 expérimentations à l’air libre à RX3, on obtient 385,9 kg d’uranium, arrondis à 400 kg.

ANNEXE 17

Le risque d'exposition interne

Le risque d'exposition interne par rapport à la taille des aérosols

Preliminaire

Les deux voies d'atteinte de l'organisme lors d'une exposition à des aérosols sont respectivement l'inhalation et l'ingestion. La Commission internationale pour la protection radiologique (CIPR) a établi un modèle pulmonaire et digestif décrits en particulier dans les publications n° 30, 54 et 66¹. Nous ne nous intéresserons ici qu'à l'inhalation.

Quelques données

a) Influence du diamètre des aérosols

L'exposition aux aérosols dépend de différents paramètres dont le DAMA (Diamètre aérodynamique médian en activité ou AMAD en anglais). Celui-ci va conditionner la pénétration dans les différents compartiments du système respiratoire ainsi que leur clearance. Globalement, on distingue la zone supérieure d'entrée Naso-Pharyngée (N-P), l'arbre Trachéo-Bronchique (T-B) et les Poumons (P).

Les données dosimétriques telles que les DPUI (dose efficaces par unité d'incorporation en Sv/Bq) sont généralement données pour un DAMA de 1 et 5 µm. Notons qu'à 10 µm, 90% des particules restent dans la région supérieure N-P. Il est admis qu'au-delà de 20 µm la totalité y est déposée. Elle sera évacuée soit par mouchage soit par déglutition. Les particules les plus fines pénétreront plus facilement dans les poumons.

b) Protection individuelle contre les poussières

Il existe trois classes d'efficacité pour les demi-masques filtrants anti-aérosols FFP (Filtering facepiece particles) utilisés dans l'industrie pour la protection des voies respiratoires : FFP1, FFP2 et FFP3 (Filtering Facepiece Particles). Ces classes correspondent respectivement à un pourcentage de filtration de 70, 94 et 99% avec des pourcentages de fuite à l'intérieur du masque respectivement de 22, 8 et 2 % au maximum. A titre d'exemple :

FFP1 sert pour le bricolage (contre la silice, charbon, ciment, zinc etc..)

FFP2 industrie du verre, du bâtiment, pharmaceutique, virus (grippaux et aviaire)

FFP3 pour l'amiante par exemple.

L'INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité)⁵ donne dans son étude sur « Les appareils de protection respiratoire », l'évolution de l'efficacité totale de capture par rapport au diamètre des particules entre 0,02 et 10 µm. On note que la capture passe par un

minimum (-30%) pour une valeur de 0,3 µm et redevient maximum au-delà de 1 µm. Ce fait a peu d'incidence sur le spectre granulométrique obtenu sur un chantier.

REMARQUE : si l'on tient compte du facteur de protection qu'apporte ce type d'équipement, les évaluations dosimétriques réalisées avec et sans masque seront globalement dans un rapport 100.

Références

-
- 1) *International Commission on Radiological Protection – Publication 66: human respiratory track model for radiological protection – 1994*
 - 2) *E. Ansoborlo et al.. Distribution granulométrique d'aérosols d'uranium dans l'industrie française de fabrication de combustible - Radioprotection, vol. 32, 1997*
 - 3) *S. Andrew et al.. L'uranium appauvri sur le champ de bataille. –Revue militaire canadienne 2003*
 - 4) *J.M. Lagrange et al.. Eléments de caractérisation de la fracturation de matériaux par explosif : analyse par tomographie. CEA - 2013*

- 5) *INRS. Les appareils de protection respiratoire- Choix et utilisation*

ANNEXE 18

Photo aérienne de RX3 dans les années 60

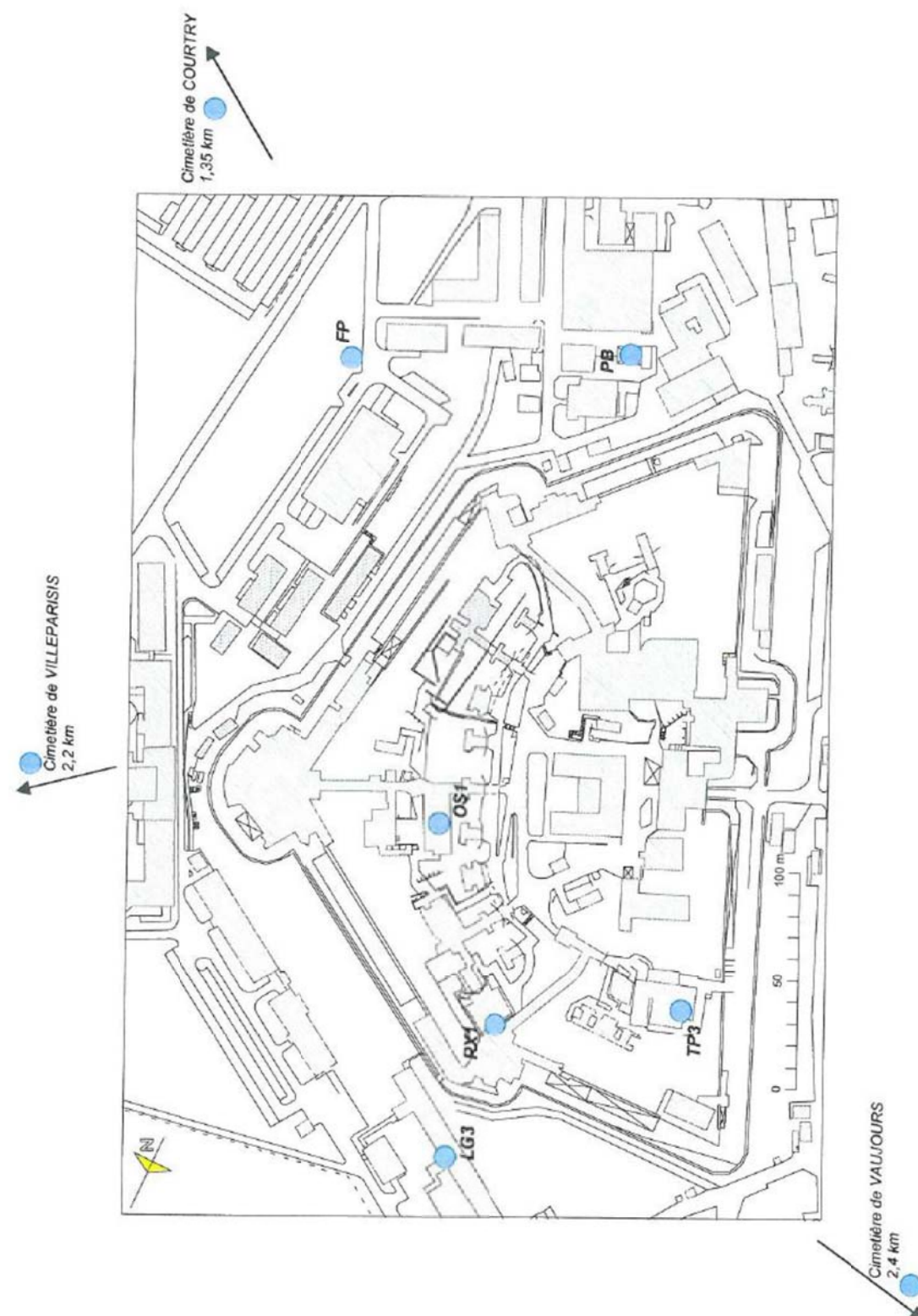


ANNEXE 19

Localisation des prélèvements de mousse

ANNEXE 20

Procédure de contrôle radiologique des postes de tirs



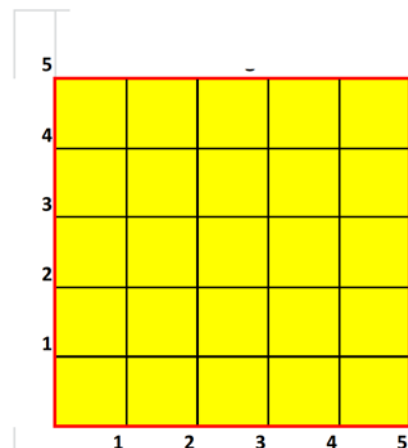
Contrôles radiologiques des postes de tir

1.1 Maillage

Un carroyage de la casemate est réalisé selon une maille de 1x1 m² et l'on se donne comme objectif de contrôler 100% de la surface y compris le plafond par un balayage manuel (sonde de grande surface comme indiqué au chapitre 7).

Les mailles seront physiquement repérées in situ. Chaque maille élémentaire est repérée par un caractère alphanumérique : A,B,C... en abscisses ; 1,2,3,... en ordonnées.

100 % des surfaces doivent être contrôlées.
Un exemple est donné ci-dessous.



Synthèse des carroyages

Le nombre de maille à contrôler est fonction de la nature de la zone considérée. Dans le document il est prévu un carroyage de 1, 10, 100 et 1000 m² selon les cas. Pour le contrôle spécifique des casemates, on produira un tableau dans lequel seront reportées les informations suivantes :

Local	Structure	Surface totale (m ²)	Catégorie	% de surface à contrôler	Surface d'une maille en m ²	Nombre de mailles mesurées
Casemate XX	Sol			100%		
	Mur			100%		
	Plafond			100%		
SOMME		m ²				

1.2 Méthodologie de mesures radiologiques

1.1.1. Type de matériel utilisé

Le contaminamètre utilisé est de type LB 124 de 300 cm² ou équivalent et le débitmètre utilisé est de type FH40 ou équivalent (voir chapitre 7 Les contrôles et le suivi radiologique).

1.1.2. Protocole de mesures de Bruit De Fond

Des mesures de bruit de fond (BDF) sont réalisées à différents endroits dans un local afin qu'ils soient représentatifs de l'ambiance où est réalisée la mesure. Une plaque de polyéthylène de 5 mm d'épaisseur (correspondant au parcours d'un bêta de 1 MeV dans le plexiglas) est mise en place sous le détecteur du contaminamètre.

1.1.3. Protocole de mesures directes de contamination

La limite de détection est déterminée suivant la formule de la norme NF EN 60325 :

$$LD = \frac{R_n}{\varepsilon_i \times \varepsilon_s \times W} \quad \text{Avec} \quad R_n = (k_{1-\alpha} + k_{1-\beta}) \sqrt{R_o \left(\frac{1}{t_m} + \frac{1}{t_{bdf}} \right)}$$

Où :

LD	est la limite de détection (en Bq/cm ²).
R_n	est le taux de comptage net à la limite de détection LD (en c/s).
k_{1-α}	est la quantile de la loi normale pour un risque d'erreur de première espèce (=1.645).
k_{1-β}	est la quantile de la loi normale pour un risque d'erreur de deuxième espèce (=1.645).
R₀	est le taux de comptage du bruit de fond.
t_{bdf}	est le temps de comptage du bruit de fond (en s).
t_m	est le temps de comptage lors de la mesure (en s).
ε_i	est le rendement de détection du contaminamètre.
ε_s	est le rendement de la source de contamination.
W	est la surface de détection du contaminamètre (en cm ²).

L'équipement doit être adapté afin de pouvoir d'atteindre une limite de détection compatible avec les exigences de la mesure (0,4 Bq/cm²) ce qui est le cas des équipements proposés (voir Chapitre 7 Les contrôles et le suivi radiologique).

La maille est entièrement mesurée à l'aide d'un contaminamètre. Tous les points de mesures de la maille sont reportés sur un PV. Une mesure de référence est réalisée et notée avec son bruit de fond associé dans un tableau schématisant le maillage de la surface cartographiée.

En cas de détection de contamination, l'activité surfacique est déterminée suivant la formule suivante (d'après la norme ISO 7503-1) :

$$As = \frac{n - n_{bdf}}{\varepsilon_i \times W \times \varepsilon_s}$$

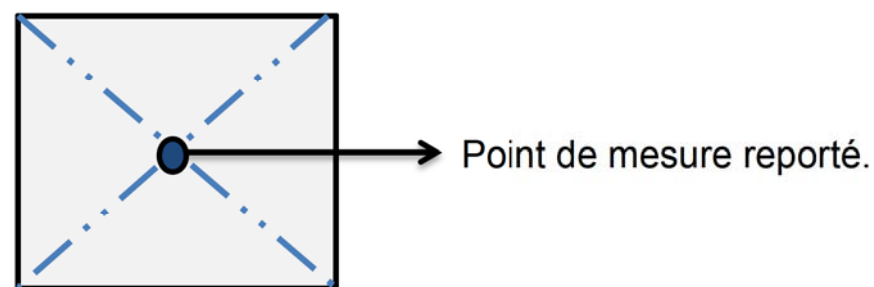
Où :

n	est le taux de comptage brut en c/s
n_{bdf}	est le taux de comptage du bruit de fond en c/s
ε_i	est le rendement sur 2π de l'appareil
W	est la surface de détection de l'appareil en cm ²
ε_s	est le rendement de source

Remarques pour les contrôles sur des mailles de 10, 100 et 1000m²

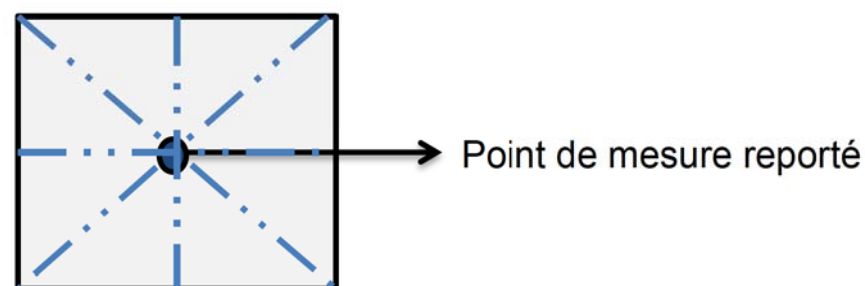
La méthodologie reste la même. Toutefois, il n'est pas possible de contrôler 100% de chaque maille. Il est possible alors soit de contrôler un certain nombre de mailles de manière exhaustive et choisies selon un critère statistique. Soit, contrôler systématiquement chaque maille en y associant un nombre de points de contrôle par maille. Cette seconde solution a été retenue.

- a) Pour 10 m² : la mesure sera reportée pour une valeur au centre de la maille à 10 cm. L'opérateur fera un contrôle en « 8 » pour balayer la maille.
- b) Pour 100 m² (contrôle de sol) : la mesure sera reportée pour une valeur au centre de la maille à 10 cm. L'opérateur fera ensuite un contrôle en « X » en balayant la zone, par mouvement de balancier, avec une sonde par exemple tenue au bout d'un câble. Il se déplacera sur les deux diagonales de la maille (voir figure ci-dessous).



Contrôle en X (maille de 100m²)

- c) Pour 1000 m² (contrôle de sols) : la mesure sera reportée pour une valeur au centre de la maille à 10 cm. L'opérateur fera ensuite un contrôle en « X » en balayant la zone par mouvement de balancier, avec une sonde par exemple tenue au bout d'un câble. Il se déplacera, en marchant à vitesse réduite, sur les diagonales et médianes de la maille.



Contrôle en X (maille de

ANNEXE 21

Pénétration d'un éclat d'uranium dans du béton

Pénétration d'un éclat d'uranium dans du béton

1. Préliminaire

Lors d'une expérimentation pyrotechnique, des pare-éclats sont disposés dans le poste de tirs et sont destinés à absorber les fragments émis. Les pénétrations associées à ces fragments vont dépendre de la vitesse, de l'angle d'incidence mais aussi des éventuels « rebonds ».

Le retour d'expérience des expérimentateurs révèle que la pénétration des fragments de petites tailles est inférieure au centimètre. A titre conservatif, la valeur d'écrouissage proposée dans le dossier de sûreté a été proposée à 3 cm. L'étude présentée ci-dessous a pour objet de justifier ces valeurs.

2. Modélisation

La figure ci-contre évalue la pénétration en fonction de la masse et de la vitesse initiale du fragment. Elle utilise les formules empiriques du TM5-855-1⁽¹⁾ (1986) et du UFC 3-340-02⁽²⁾ (2008) particulièrement adaptées au cas présent:

$$X = \frac{1.36 W_f^{0.37} V_{sf}^{0.9}}{f_c^{0.25}} \quad \text{si} \quad X \leq 1.4 W_f^{0.33}$$

$$X = \frac{0.663 W_f^{0.4} V_{sf}^{1.8}}{f_c^{0.5}} + 0.695 W_f^{0.33} \quad \text{si} \quad X > 1.4 W_f^{0.33}$$

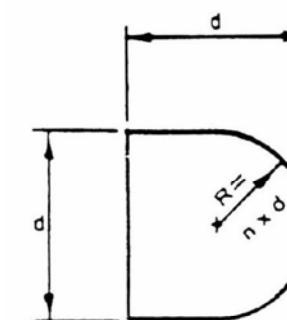
avec X = la profondeur de pénétration en inch

W_f = la masse du fragment en oz

V_{sf} = vitesse d'impact du fragment en 10^3 fps

f_c = résistance du béton en kps

Pour le calcul de pénétration, le fragment est supposé être indéformable, cylindrique avec un nez hémisphérique ce qui est un facteur majorant :



Primary fragment shape (TM 5-855-1, 1986)

Hypothèses de calcul

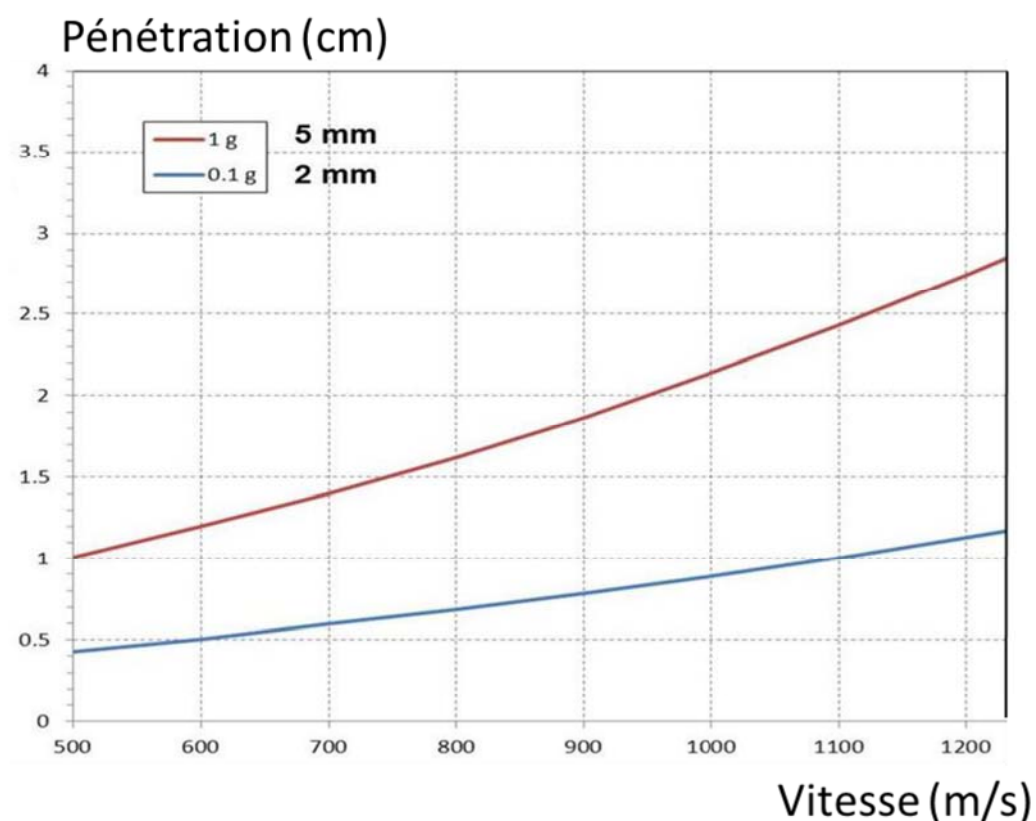
- Les calculs ont été menés pour deux fragments sphériques de diamètre 2 et 5 mm ;
- Le domaine de variation des vitesses est de 500 à 1200 m/s (gamme de vitesse type pour le vol d'éclats en détonique);
- Pour un mur en béton «standard», la résistance à la compression considérée est de 40MPa (la valeur communément utilisée en génie civil). Il constitue un équivalent réaliste d'un mur de pierre ;
- Les courbes sont établies pour une attaque directe à 90° ce qui constitue un majorant à eux titres : d'une part, dans le cas des expérimentations, le pare-éclat absorbe les projections et réduit fortement la vitesse d'impact et d'autre part, la profondeur de pénétration diminue en fonction du cosinus de l'angle d'incidence ;
- S'il y a un «rebond» du fragment, on considère généralement que la vitesse initiale est réduite de moitié. Une vitesse de l'ordre de 1000 m/s constitue une valeur de référence majorante pour ces évaluations ;
- Le fait de prendre un fragment de forme sphérique est également un majorant. Une forme oblongue réduirait la pénétration de l'ordre de 20%. La modélisation d'un tel fragment serait complexe ;
- Enfin, on suppose dans ces évaluations que le matériau ne se déforme pas lors de la pénétration ce qui constitue également un facteur majorant pour la profondeur de pénétration.

Référence

- (1) Technical Manual TM5-855-1 «Fundamentals of protective design for conventional weapons» Headquarters, Department of the Army 1986.

- (2) Unified Facilities Criteria UFC 3-340-02 « Structures to resist the effects of accidental explosions» Department of Defense (DoD) 2008.
- (3) Constitutive equations for engineering materials Chen Saleeb, J Wiley Pub. 1982 (limite d'écoulement élastoplastique du béton à $4,810^7 \text{Pa}$).

La figure ci-dessous représente la pénétration (en mm) d'un fragment d'uranium de masse 0.1 et 1 g (soit une sphère de diamètre 2 et 5 mm) sur une gamme de vitesses allant de 500 à 1200 m/s impactant un béton « ordinaire » de résistance à la compression de 40 MPa (incidence 90°).



Conclusions

La pénétration d'un fragment modélisé par une sphère d'uranium de 2 et 5 mm de diamètre dans un mur de béton « ordinaire » pour un ensemble de conditions les plus pénalisantes (une valeur de vitesse de l'ordre de 1000 m/s, une incidence normale à 90° , la forme la plus pénétrante et un fragment indéformable) se situe respectivement entre 0,8 et 2,2 cm. Les fragments susceptibles d'avoir subi une ou plusieurs réflexions atteignent de fait des valeurs de vitesse bien moindres ainsi qu'un angle d'attaque inférieur à 90° . De ce fait leur profondeur de pénétration sont très inférieures aux valeurs indiquées.

ANNEXE 22

Extrait du rapport Campagne de mesures gamma
effectuées sur le site CEA de VAUJOURS par le dispositif
AUTONUC



CEA/DAM - ILE DE FRANCE
DEPARTEMENT ANALYSE ET SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT
SERVICE RADIANALYSES, CHIMIE ET ENVIRONNEMENT
LABORATOIRE MESURES SOL ET AEROPORTEES



Rapport MSA paru le 26 juin 2002

Liste des participants à la mission :

Rédacteur	Vérificateur	Approbateur

Sommaire

SOMMAIRE	2
1. INTRODUCTION.....	3
2. PRÉSENTATION DU SYSTÈME DE MESURE AUTONUC.....	3
3. RÉALISATION DES MESURES.....	4
4. TRAITEMENT DES MESURES	4
4.1. MESURES BRUTES.....	4
4.2. ANALYSE SPECTRALE DES MESURES NaI.....	5
4.3. ANALYSE SPECTRALE DES MESURES Ge	5
5. RÉSULTATS.....	5
5.1. COMPTAGE GAMMA TOTAL.....	5
5.2. RECHERCHE DES RADIONUCLÉIDES PRÉSENTS À PARTIR DES MESURES GERMANIUM	5
5.3. CARTOGRAPHIE GAMMA DES RADIONUCLÉIDES DÉTECTÉS	6
1.1.1. Activité ⁴⁰ K.....	6
1.1.2. Activité ²¹⁴ Bi	6
1.1.3. Recherche de ²²⁶ Ra du à un apport anthropique.....	6
1.1.4. Activité ²³² Th	7
1.1.5. Activité ¹³⁷ Cs.....	8
6. CONCLUSION	8

1. Introduction

A la suite de la réunion de la Commission de Suivi qui s'est tenue le 11 mars 2002 à Vaujours en présence des Préfets de la Seine et Marne et de la Seine Saint Denis, il a été décidé d'effectuer un contrôle des voies de circulation accessibles à des camions, à l'intérieur du Centre CEA de Vaujours, au moyen du dispositif de cartographie gamma embarqué à bord d'un véhicule tout terrain ("AUTONUC"). Ce système permet d'effectuer un contrôle de la radioactivité présente dans la couche la plus superficielle des sols. Il est destiné à s'assurer qu'il n'existe plus de débris radioactifs disséminés, du type de ceux trouvés auparavant sur la pelouse, en bordure de route, en face de l'ancienne cantine du Centre (débris de sources d'un paratonnerre au ^{226}Ra).

Il vient en complément des campagnes de vérification ("scanning gamma") réalisées au mois d'avril 2001 par Subatech et la Cri-Rad.

Les modalités de ce contrôle [1] ont été approuvées lors de la réunion du Groupe technique restreint qui s'est tenue le 12 avril 2002 dans les locaux de la DRIRE, à Savigny-le-Temple.

2. Présentation du système de mesure AUTONUC

Le dispositif "AUTONUC" de cartographie gamma embarqué à bord d'un véhicule tout terrain a été développé par le CEA depuis 1997. Les détecteurs et les instrumentations associées sont installés à bord du véhicule. Opérant à 1,2 mètre du sol, ce dispositif est bien plus sensible que le système hélicoptère "HELINUC" aux surfaces actives de petite dimension. La maille élémentaire de mesure AUTONUC est de l'ordre 500 m² contre 50000 m² pour HELINUC. Il permet ainsi de repérer d'éventuelles sources radioactives "ponctuelles" et de déterminer, dans le cas d'une source étendue, la radioactivité surfacique d'origine naturelle ou artificielle.

Le système de mesure gamma est composé d'un détecteur d'iodure de sodium composé de 4 cristaux d'un volume total de 16 litres et d'un détecteur germanium d'un volume de 0,3 litre. Ces deux détecteurs assurent respectivement au dispositif une grande sensibilité et un bon pouvoir d'identification des radionucléides présents. Toutes les deux secondes, un spectre provenant de chaque détecteur est enregistré accompagné de la position du véhicule fournie par un récepteur GPS (Global Positioning System).



Un traitement en temps réel des mesures permet de détecter rapidement les anomalies radiologiques majeures. Les données enregistrées sur un support magnétique sont ensuite analysées en détail à l'issue des mesures.

La procédure utilisée consiste en deux passages sur chaque voie de circulation (un passage sur chaque côté de la voie). La vitesse de mesure est comprise entre 3 et 10 m/s (de 10 à 36 km/h). Sur les aires planes (voies de

stationnement, places, pelouses, ...), le maillage est adapté en fonction des sensibilités demandées. L'écart entre deux profils est compris entre 5 et 8 mètres.

3. Réalisation des mesures

Les opérations sur le terrain se sont déroulées sur deux jours (23 et 24 avril). Trois personnes du CEA ont participé les deux jours aux mesures : Ludovic GUILLOT, Dominique MARCHAND et Jean-Claude MILLIES-LACROIX. Les représentants des Associations ont assisté et participé aux reconnaissances : Jacques KALKOTOURIAN (le 23/04), Claude AUBAYLE et Edmond KINDT (le 24/04).

L'ensemble des voies de circulation ainsi que les espaces verts permettant le passage du véhicule ont été couverts. Le trajet détaillé est présenté sur la Figure 1.

La première journée a été essentiellement consacrée aux contrôles des routes à l'intérieur de l'ancien Centre CEA de Vaujours. La deuxième journée a été employée aux contrôles des aires "planes" (pelouses, aires de stationnement, ...). Au total, une quarantaine de kilomètres ont été parcourus avec le dispositif AUTONUC (75 % pour le contrôle des routes, 25 % pour celui des aires planes).

Ainsi, conformément au programme, la quasi-totalité des routes et des aires ont été inspectées, à l'exception des voies ou zones inaccessibles suivantes :

- . 200 mètres environ de voies de circulation situées à l'est de la Redoute Nord, inaccessibles même à pied (elles n'avaient déjà pas pu être contrôlées par SUBATECH lors de leur scanning gamma en avril - mai 2001).
- . trois zones, d'une surface totale d'environ un demi hectare, situées à l'est du Centre ; ces zones sont à l'emplacement d'anciennes installations sportives (cours de tennis, ...).

Bien que non prévu, la partie asséchée des douves entourant le Fort Central a été inspectée (environ 75 % des douves), de même que l'intérieur du Fort Central (à proximité de l'entrée) situé en dehors de la Zone Contrôlée, d'accès limité, liée aux travaux d'assainissement.

4. Traitement des mesures

L'interprétation des mesures a pour but de mettre en évidence tout ajout de radioactivité au bruit de fond d'origine naturelle. Lorsqu'une contribution artificielle est mise en évidence, le radionucléide doit être identifié et son abondance calculée. Les paragraphes suivants ont pour but d'expliquer les méthodes d'interprétation qualitatives et quantitatives mises en œuvre pour tirer le meilleur parti des données acquises.

On commence toujours par effectuer le bilan des activités naturelles présentes sur le site : potassium, famille uranium et famille thorium. En connaissant les variations du fond d'origine naturelle, on met alors en évidence de façon plus fiable les contributions d'origine anthropique.

Deux niveaux d'interprétation différents sont fournis : mesures brutes et interprétations quantitatives des radionucléides détectés.

4.1. Mesures brutes

La première étape du dépouillement consiste à examiner les variations du comptage total, tous radionucléides confondus. Le traitement des mesures débute donc par la cartographie du comptage intégré entre 40 et 2800 keV pour le détecteur NaI et entre 40 et 2000 keV pour le détecteur germanium. Les mesures sont exprimées en coups par seconde. D'une façon générale, l'examen de cette cartographie permet de déterminer très rapidement la présence d'anomalies notables vis-à-vis du fond radiologique.

4.2. Analyse spectrale des mesures NaI

L'identification puis l'estimation de l'abondance des radionucléides présents à la surface ou dans le sol sont effectuées à partir des pics d'absorption totale correspondant aux raies d'émission majeures de ces radionucléides. Or les mesures aéroportées se singularisent par une statistique de comptage très pauvre et par des détecteurs constitués d'iodure de sodium de résolution médiocre. Pour extraire ces pics du spectre brut, un algorithme de détection et de calcul des pics d'absorption adapté à ces caractéristiques a été développé [2]. Cette méthode est particulièrement bien adaptée lorsque le fond de diffusion varie peu vis-à-vis du pic à mettre en évidence. Elle est utilisée pour calculer les concentrations naturelles présentes dans les sols : potassium, uranium et thorium. Le potassium est caractérisé par son pic à 1461 keV, alors que l'uranium et le thorium sont respectivement mis en évidence à partir des pics à 1764 keV et 2615 keV de leurs descendants.

Ce traitement a la particularité de ne pas nécessiter d'hypothèse sur le nombre ou la nature des radionucléides présents. Une détection des radionucléides possédant des raies d'émission sur toute la gamme énergétique de mesure (20 à 2800 keV) est alors possible au contraire de la méthode par déconvolution spectrale.

4.3. Analyse spectrale des mesures Ge

Le germanium a été utilisé pour préciser la nature des radionucléides présents sur le site au travers de l'examen du spectre somme de l'ensemble des mesures enregistrées.

Une confirmation de la répartition spatiale de ^{214}Bi (descendant de ^{238}U) a également été obtenue. Pour cela, des cartographies représentatives de l'évolution du comptage dans une fenêtre énergétique centrée sur le pic à 609 keV a ont été élaborées.

5. Résultats

5.1. Comptage gamma total

La carte présentant le comptage gamma total mesuré par spectrométrie gamma NaI (de 40 keV à 2800 keV) est donnée sur la Figure 2. Elle est représentative de la totalité du rayonnement gamma vu par les détecteurs. Ce rayonnement est essentiellement d'origine naturelle : rayonnement cosmique, chaînes naturelles de ^{232}Th , ^{238}U et ^{235}U , et potassium 40 (^{40}K). Une très faible composante artificielle, principalement due aux retombées mondiales des anciennes expérimentations nucléaires atmosphériques et à l'accident de Tchernobyl, vient s'ajouter à ce rayonnement naturel.

Les comptages enregistrés, compris entre 1800 et 5200 c/s, sont conformes aux comptages habituellement mesurés en Ile de France. Les routes se traduisent par une émission gamma comprise entre 1800 et 4000 c/s. L'émission des espaces verts est comprise entre 4000 et 5200 c/s. Aucune source d'émission ponctuelle n'est mise en évidence par l'analyse du comptage gamma total du détecteur NaI.

La carte présentant le comptage gamma total mesuré par spectrométrie gamma Ge (de 40 keV à 2000 keV) est présentée sur la Figure 3. Cette carte est en parfait accord avec les variations de comptages constatées à partir des mesures NaI.

Les niveaux d'activité mesurés sur les routes inférieurs à ceux des espaces verts peuvent être expliqués notamment par la nature des matériaux utilisés pour le substrat (généralement du sable compacté) et le revêtement des routes et des trottoirs, de radioactivité plus faible.

5.2. Recherche des radionucléides présents à partir des mesures germanium

L'examen du spectre germanium constitué par la somme des mesures enregistrées pendant le contrôle AUTONUC permet de connaître avec précision la nature des radionucléides présents sur le site dans une proportion significative des mesures. Ce spectre est présenté en Figure 4.

Outre les trois familles naturelles (^{40}K , ^{238}U et ^{232}Th) et les descendants, le seul radionucléide d'origine anthropique détectable est le ^{137}Cs dont la raie gamma apparaît à 662 keV.

5.3. Cartographie gamma des radionucléides détectés

A partir de la déconvolution des principales raies gamma émises par des radionucléides recherchés, il est possible d'établir des cartes spécifiques à une famille radioactive ou à un radionucléide émetteur gamma. C'est ainsi que sont données dans les paragraphes suivants les cartes d'activité en ^{40}K , ^{214}Bi (représentatif du ^{238}U) et ^{232}Th .

1.1.1. Activité ^{40}K

La Figure 5 présente l'activité ^{40}K mesurée par spectrométrie gamma NaI. Les activités, comprises entre 10 et 180 Bq/kg, sont conformes aux valeurs couramment mesurées en Ile de France. Comme la cartographie du comptage gamma total l'avait déjà montré, les activités les plus faibles sont observées sur les voies de circulation, alors que les activités les plus importantes sont mesurées sur les espaces verts. On peut rappeler que les activités en ^{40}K , mesurées sur 74 échantillons de sol prélevés en juin et juillet 2001 [3], principalement à l'intérieur du Fort central, étaient comprises entre 70 et 520 Bq/kg, avec une valeur moyenne de (314 ± 117) Bq/kg.

L'activité des espaces verts est d'une façon générale deux fois supérieure à celle des routes et explique en partie les différences de comptage observées pour le comptage total.

1.1.2. Activité ^{214}Bi

La Figure 6 présente l'activité ^{214}Bi mesurée par spectrométrie gamma NaI. Cette carte est représentative de ^{238}U naturel à l'équilibre séculaire dans les sols mais peut également révéler la présence éventuelle de ^{226}Ra d'origine anthropique. Les activités ^{214}Bi (comprises entre 5 et 40 Bq/kg) sont conformes aux valeurs couramment mesurées en Ile de France.

Les activités ^{214}Bi , mesurées sur 74 échantillons de sol prélevés en juin et juillet 2001, étaient comprises entre 10 et 60 Bq/kg, avec une valeur moyenne de $(35,5 \pm 9,9)$ Bq/kg.

Comme dans le cas du ^{40}K , les activités observées sur les espaces verts sont un peu plus élevées, ce qui explique en partie les différences de comptage observées pour le comptage total. Toutefois, la différence d'activité entre les routes les espaces verts est beaucoup plus réduite. La Figure 7 présentant l'activité ^{214}Bi mesurée par spectrométrie gamma Ge confirme également les faibles gradients mis en évidence par les mesures NaI.

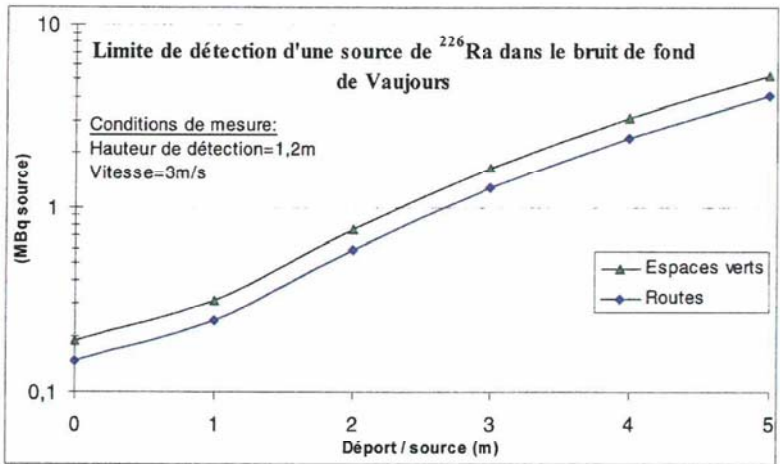
1.1.3. Recherche de ^{226}Ra du à un apport anthropique

En raison de l'hétérogénéité de la radioactivité naturelle en ^{214}Bi sur le site, deux limites de détection d'une source ponctuelle anormale de ^{226}Ra peuvent être définies, l'une pour les routes et l'autre pour les espaces verts. Dans ce contexte de mesures dans un fond radioactif variable, la limite de détection d'une anomalie radiologique a été définie à deux fois l'intensité maximale des variations d'activité du ^{214}Bi sur le site. Ce calcul a été effectué de façon autonome pour les routes et les espaces verts en raison de la dynamique d'activités différente. Le Tableau 1 présente les résultats obtenus. Sur les routes une anomalie sera détectée si elle génère un comptage global de 59 c/s ($21+38$ c/s), soit approximativement trois fois le comptage moyen observé, alors qu'elle devra atteindre 80 c/s ($30+50$ c/s) sur les espaces verts.

Tableau 1 : Limites de détection d'une source ponctuelle de ^{226}Ra sur les routes ou les espaces verts du site de Vaujours.

	Activité moyenne	Comptage moyen observé ^{214}Bi	Comptage maximal observé ^{214}Bi	Comptage global correspondant à la limite de détection	Limite de détection d'une source ponctuelle ^{226}Ra
Routes	15 Bq/kg	21 c/s	40 c/s	59 c/s	38 c/s
Espaces verts	22 Bq/kg	30 c/s	55 c/s	80 c/s	50 c/s

La limite de détection d'une source ponctuelle de ^{226}Ra susceptible de générer ces comptages est présentée sur la figure suivante.



Limite de détection d'une source de ^{226}Ra superposée au fond naturel ^{238}U .

La limite de détection d'une source ponctuelle de ^{226}Ra est de l'ordre de 0,2 MBq pour une source située dans l'axe de détection des détecteurs. La sensibilité de détection est plus favorable en bordure de route que sur les espaces verts. Elle diminue avec l'éloignement de la source. Les mesures ayant été effectuées avec un déport maximal entre deux profils de mesures de 8 mètres, on peut affirmer qu'une source d'activité supérieure à 2,4 MBq sur les routes et à 3,1 MBq sur les espaces verts aurait été détectée. On peut rappeler que le débris de paratonnerre (activité de 10 MBq), trouvé sur la pelouse lors de la campagne de détection de terrain en avril - mai 2001, aurait été détecté sans problèmes, même si il n'avait pas été situé en bordure de route.

L'analyse des cartographies NaI et Ge présentées en Figure 6 et Figure 7 ne met pas en évidence de gradients locaux d'activité significatifs qui pourraient traduire la présence d'autres sources ponctuelles de ^{226}Ra .

1.1.4. Activité ^{232}Th

La Figure 8 présente l'activité ^{232}Th basée sur la mesure de la raie à 2615 keV de ^{208}Tl mesurée par spectrométrie gamma NaI. Les activités, comprises entre 1 et 18 Bq/kg, sont conformes aux valeurs couramment mesurées en Ile de France.

Les activités ^{232}Th , mesurées sur 74 échantillons de sol prélevés en juin et juillet 2001, étaient comprises entre 10 et 40 Bq/kg, avec une valeur moyenne de $23,8 \pm 7,2$ Bq/kg.

Les niveaux d'activité des espaces verts sont d'une façon générale deux fois supérieurs à ceux des routes. Les contributions en ^{40}K (voir la Figure 5), en ^{214}Bi (voir la Figure 6) et en ^{232}Th (voir la Figure 8) plus importantes sur les espaces verts que sur les voies de circulation expliquent parfaitement les différences de comptage observées sur la cartographie du comptage gamma total donnée en Figure 2.

1.1.5. Activité ^{137}Cs

Les dépôts de césium mesurés en Ile de France proviennent pour la plus grande part des retombées des essais atmosphériques effectués dans les années 60 et dans une moindre mesure des retombées de l'accident de Tchernobyl (1986). Ces dépôts se trouvent généralement localisés dans les premiers centimètres du sol avec des écarts de distribution verticale selon la nature géologique du sol ou le revêtement recouvrant celui-ci. Pour permettre une comparaison simple des activités mesurées en divers lieux, celle-ci sera exprimée en équivalent surfacique (Bq/m^2). On représente ainsi l'activité apparente en césium. La Figure 9 présente l'activité ^{137}Cs mesurée par spectrométrie gamma NaI.

L'activité ^{137}Cs mesurée varie entre 0 et 3500 kBq/m^2 . L'activité est supérieure sur les espaces verts où les dépôts se sont fixés. Sur les routes, le césium déposé a été lessivé et ne peut être détecté que dans des proportions inférieures à 1 kBq/m^2 . Ces valeurs sont très faibles et proches des limites de détection de notre système.

6. Conclusion

Les voies de circulation et les espaces verts de l'ancien Centre CEA de Vaujours ont été mesurés avec le dispositif "AUTONUC". Aucune anomalie radiologique, en particulier du type débris de paratonnerre au ^{226}Ra , n'a été détectée. La limite de détection d'une source ponctuelle de ^{226}Ra qui aurait été perdue sur le bord d'une route, sur une aire de stationnement ou sur une pelouse est de l'ordre de 0,2 MBq dans les conditions les plus favorables (source proche des détecteurs). Dans les conditions extrêmes les plus défavorables (source à 4 mètres des détecteurs), toute source d'activité supérieure à 2,4 MBq en bordure de route et à 3,1 MBq sur les espaces verts aurait été détectée.

Références

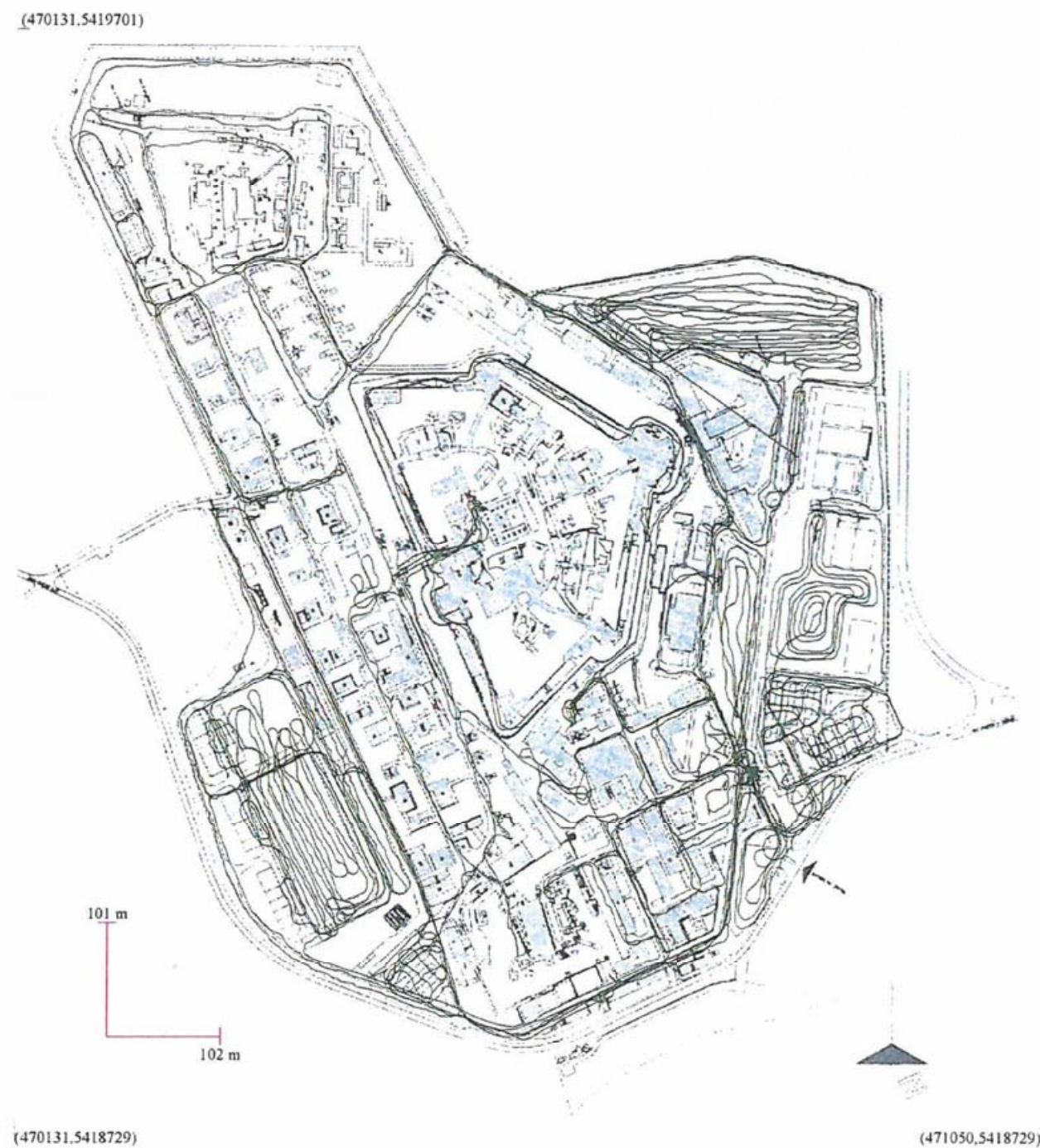
[1] Cartographie gamma sur les routes du site de Vaujours à l'aide d'un dispositif de cartographie gamma embarqué à bord d'un véhicule tout terrain (AUTONUC).
Fiche distribuée et entérinée lors de la réunion du Groupe technique restreint, le 12 avril 2002 dans les locaux de la DRIRE à Savigny le Temple.

[2] GUILLOT, L., (1996). Spectrométrie gamma aéroportée : Etude de nouvelles méthodes de traitement spectral et de calibration permettant une interprétation qualitative et quantitative des mesures. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, France.

[3] Radioactivité des sols du Centre de Vaujours prélevés en juin et juillet 2001.
Rapport technique CEA/DIF/DASE/SRCE DO 567 du 22/11/01.

VAUJOURS

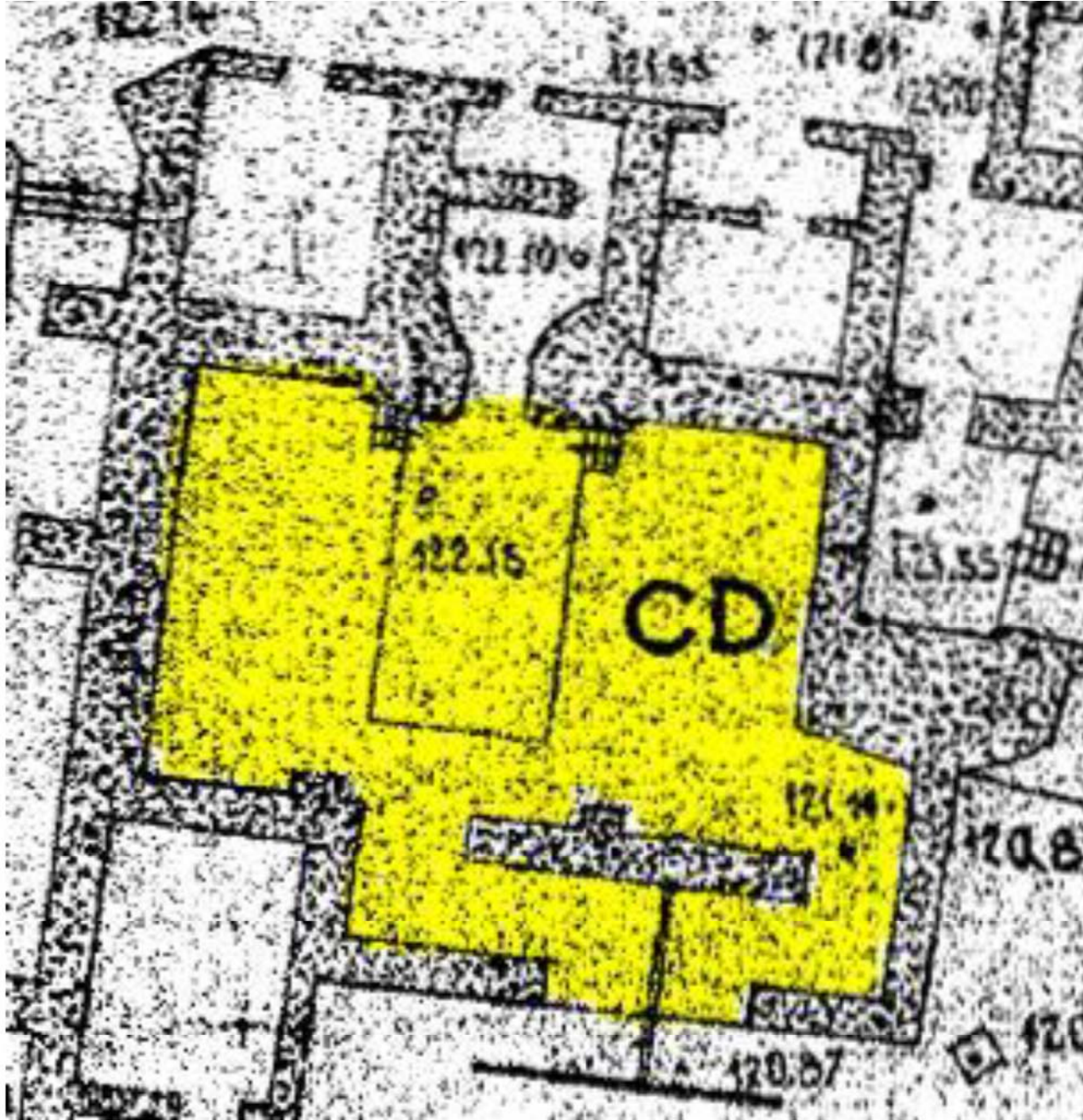
23/04/02



ANNEXE 23

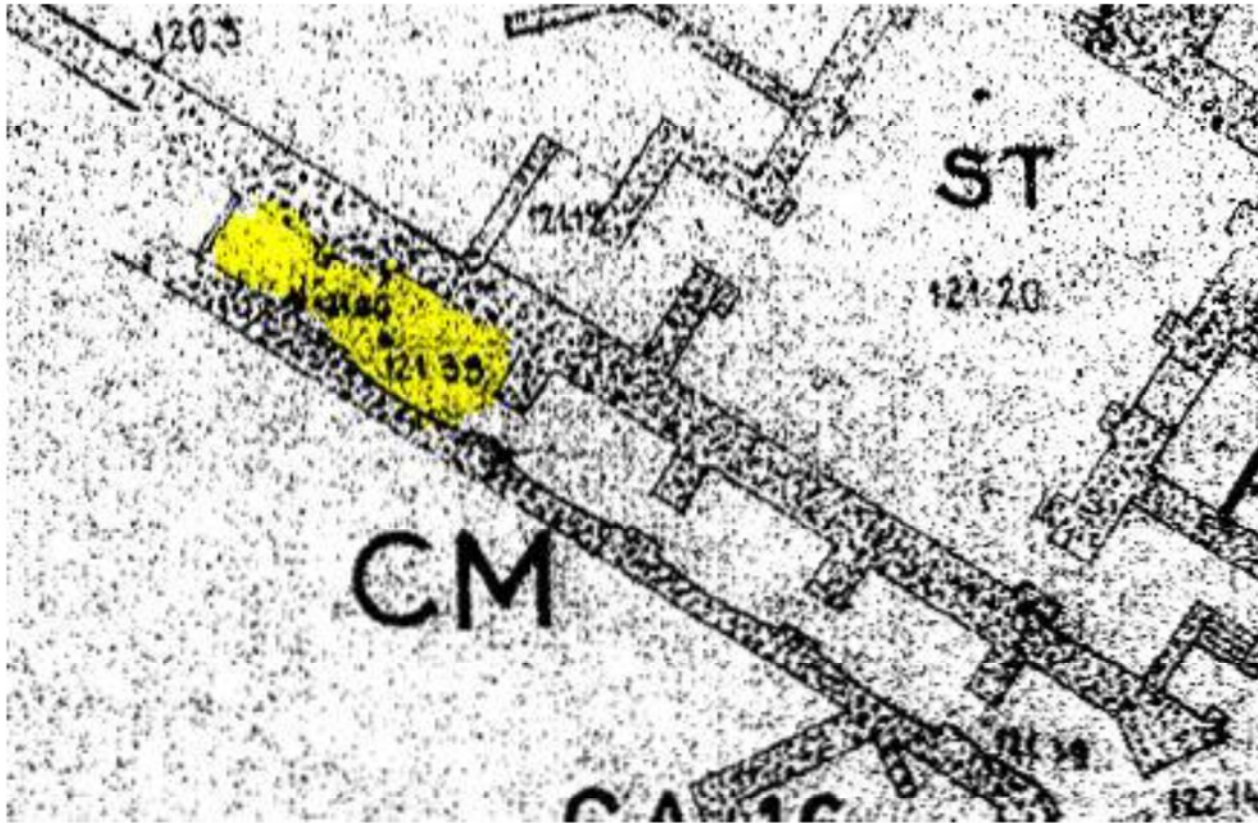
Plan de la casemate CD

Figure 1 : Trajectoires effectuées sur le site de Vaujours par le véhicule de mesure gamma AUTONUC.



ANNEXE 24

Plan de la casemate CM



ANNEXE 25

Plan de la casemate OS1-OS2



ANNEXE 26

Plan de la casemate PH

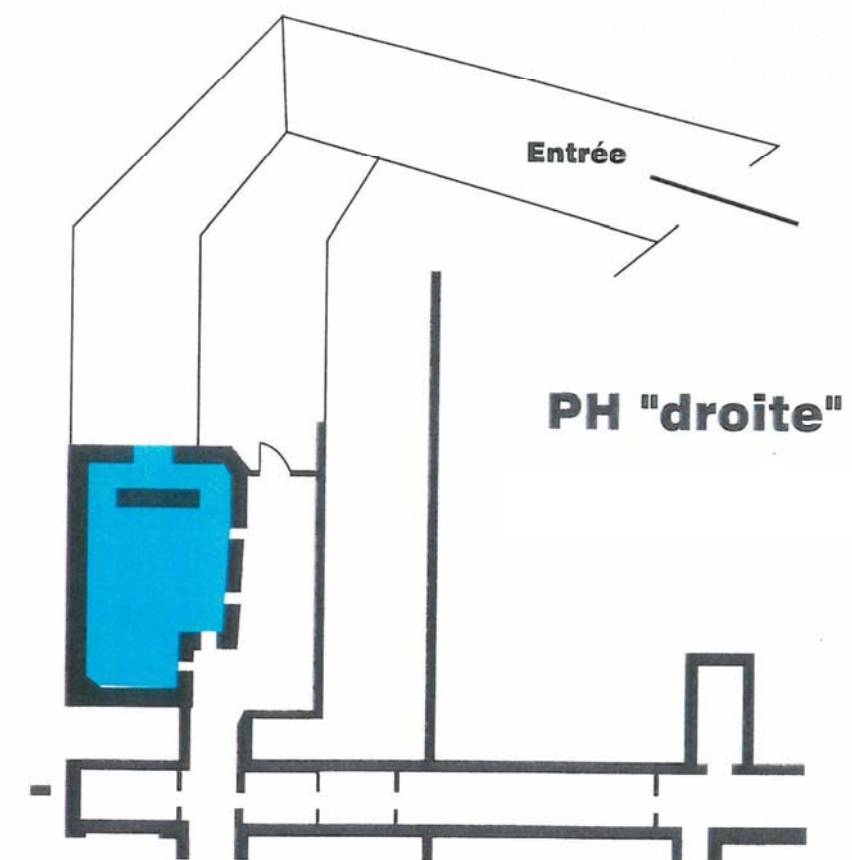
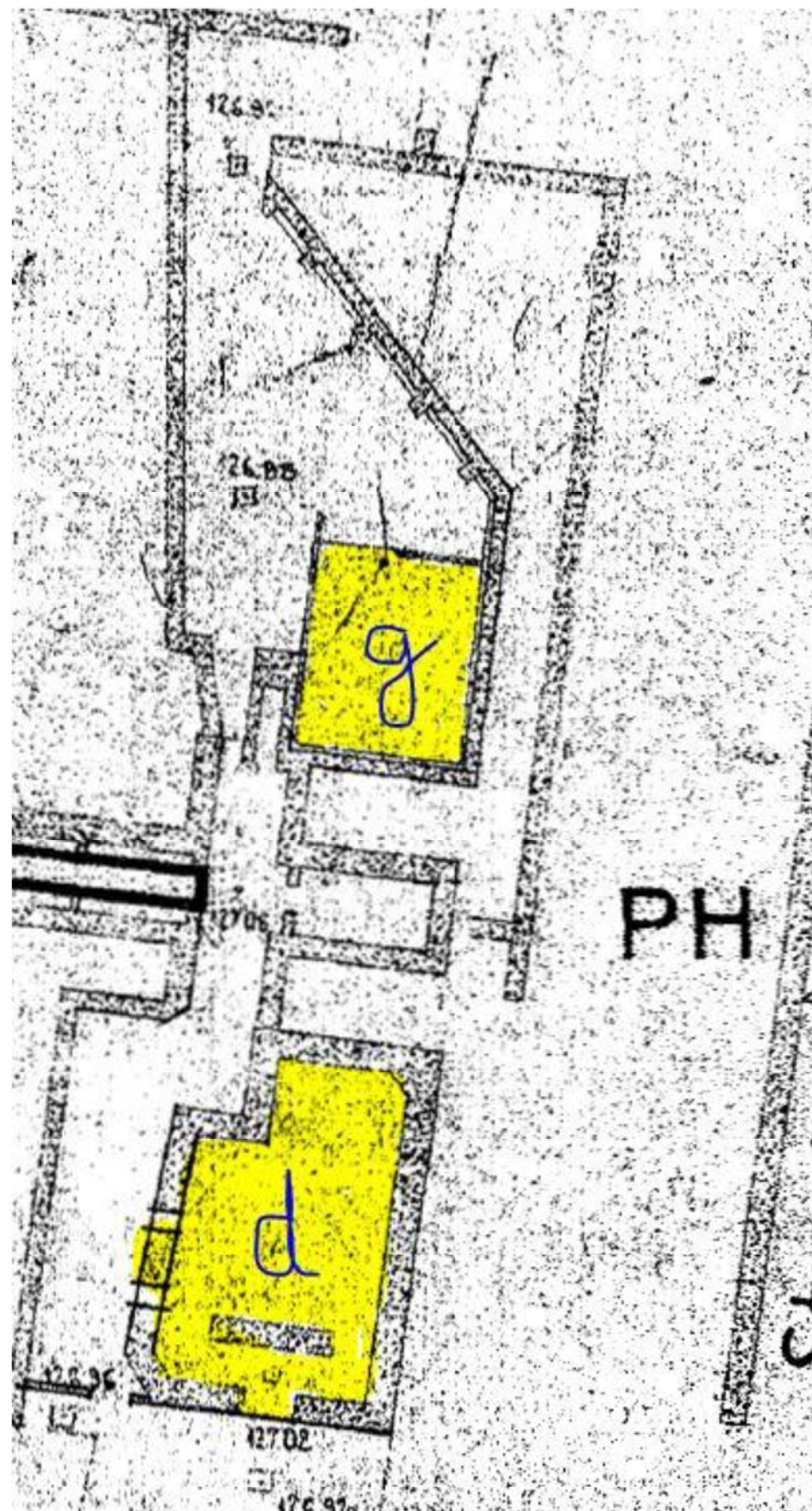
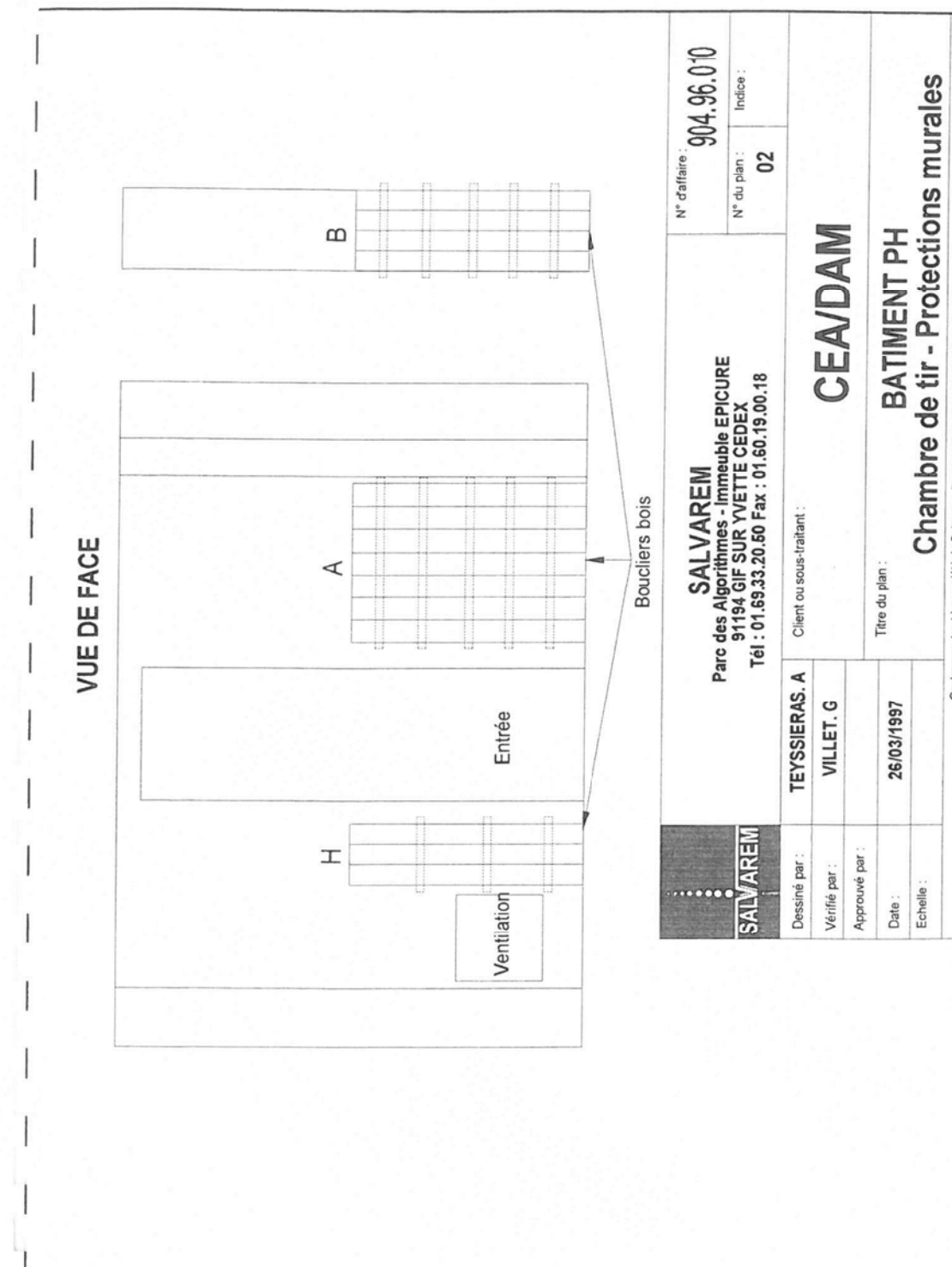
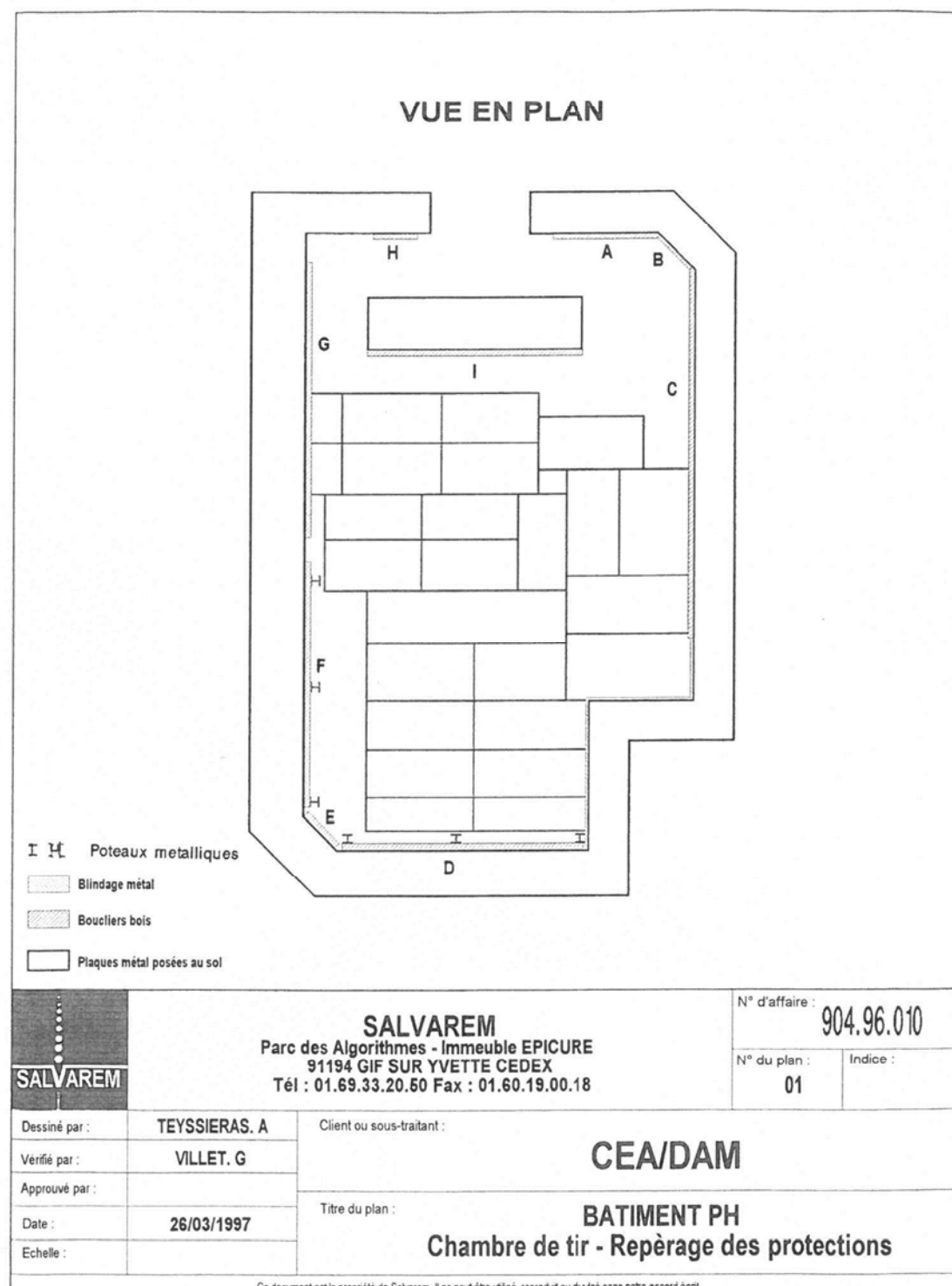
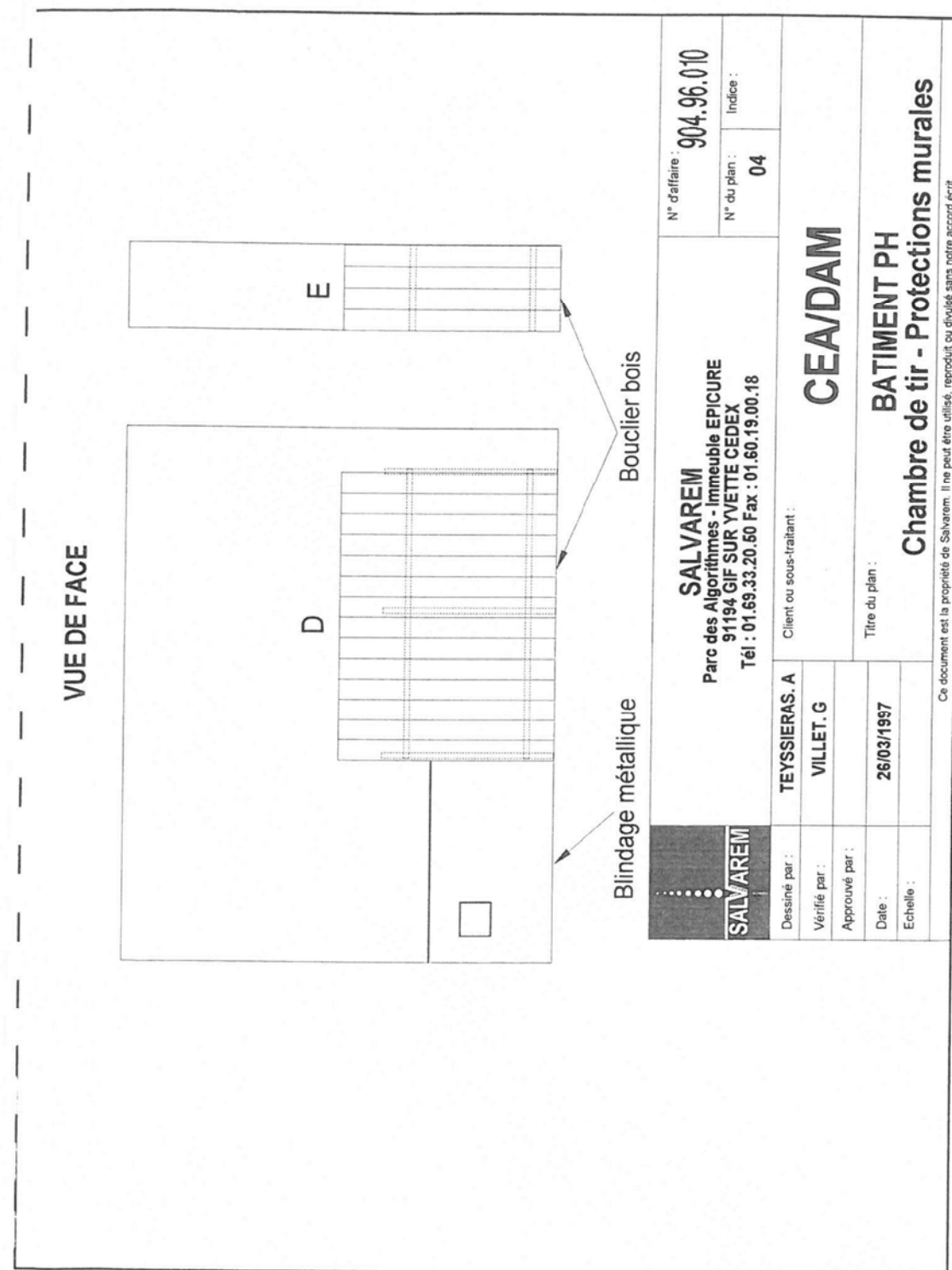
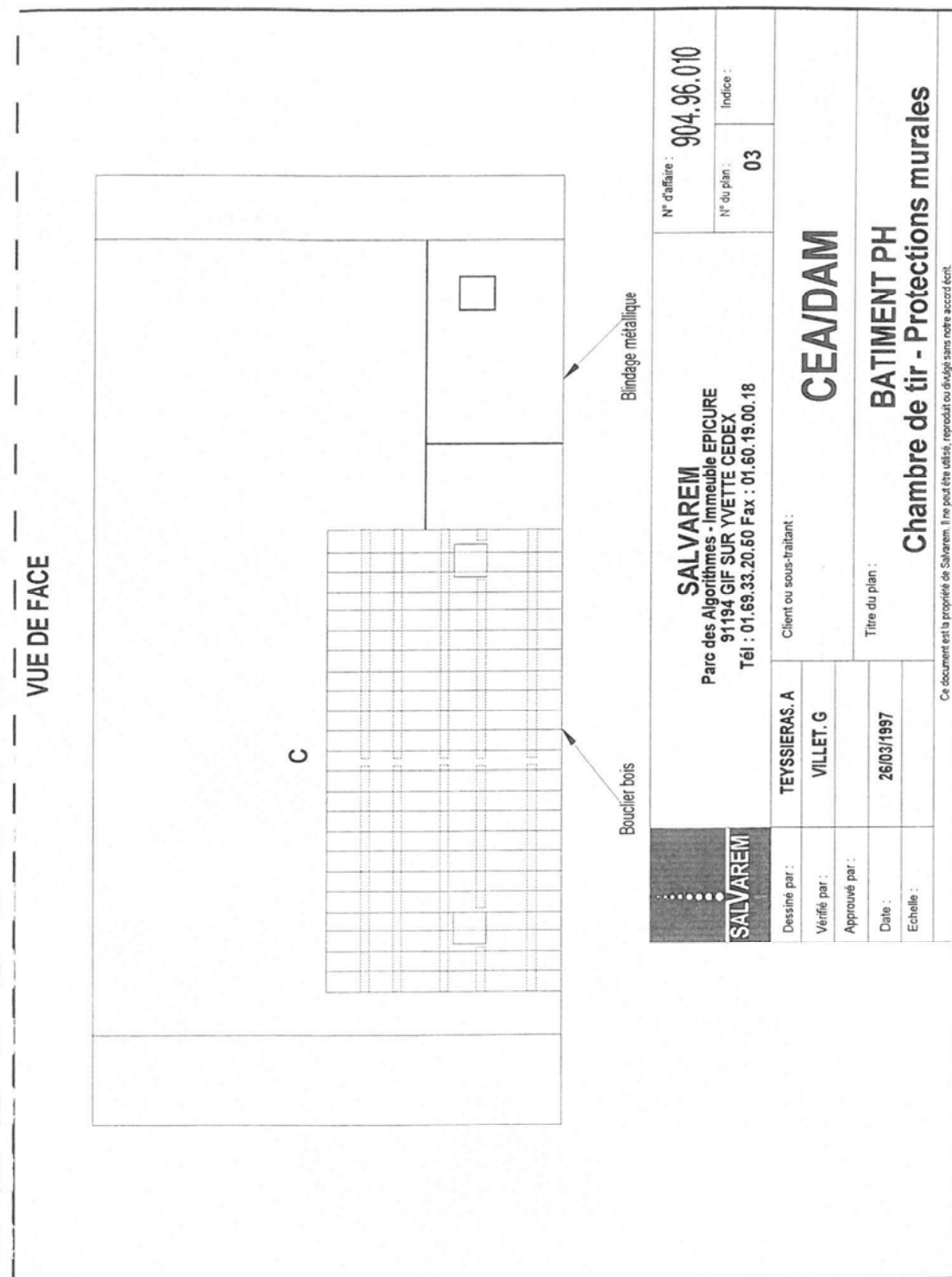


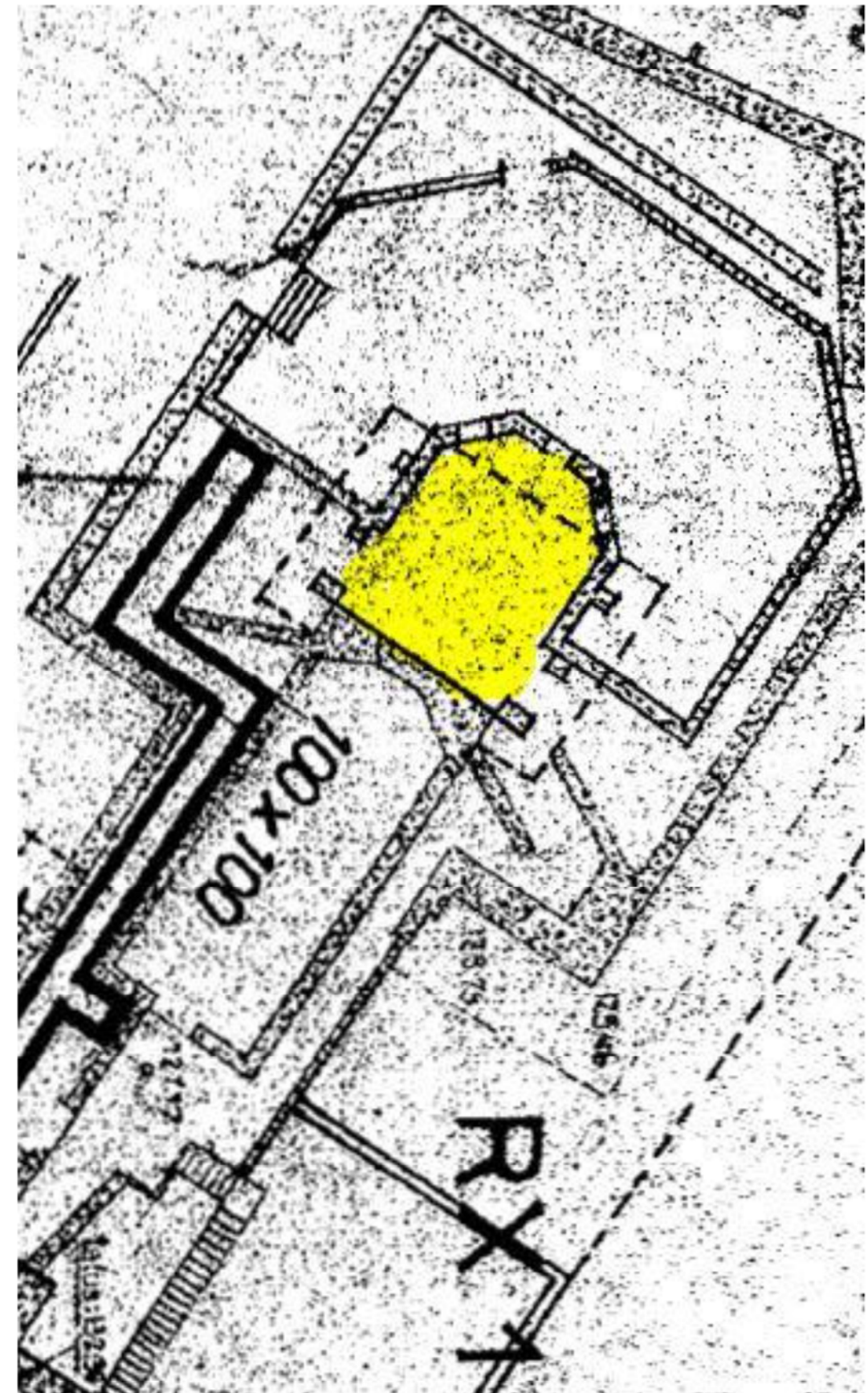
Figure 5

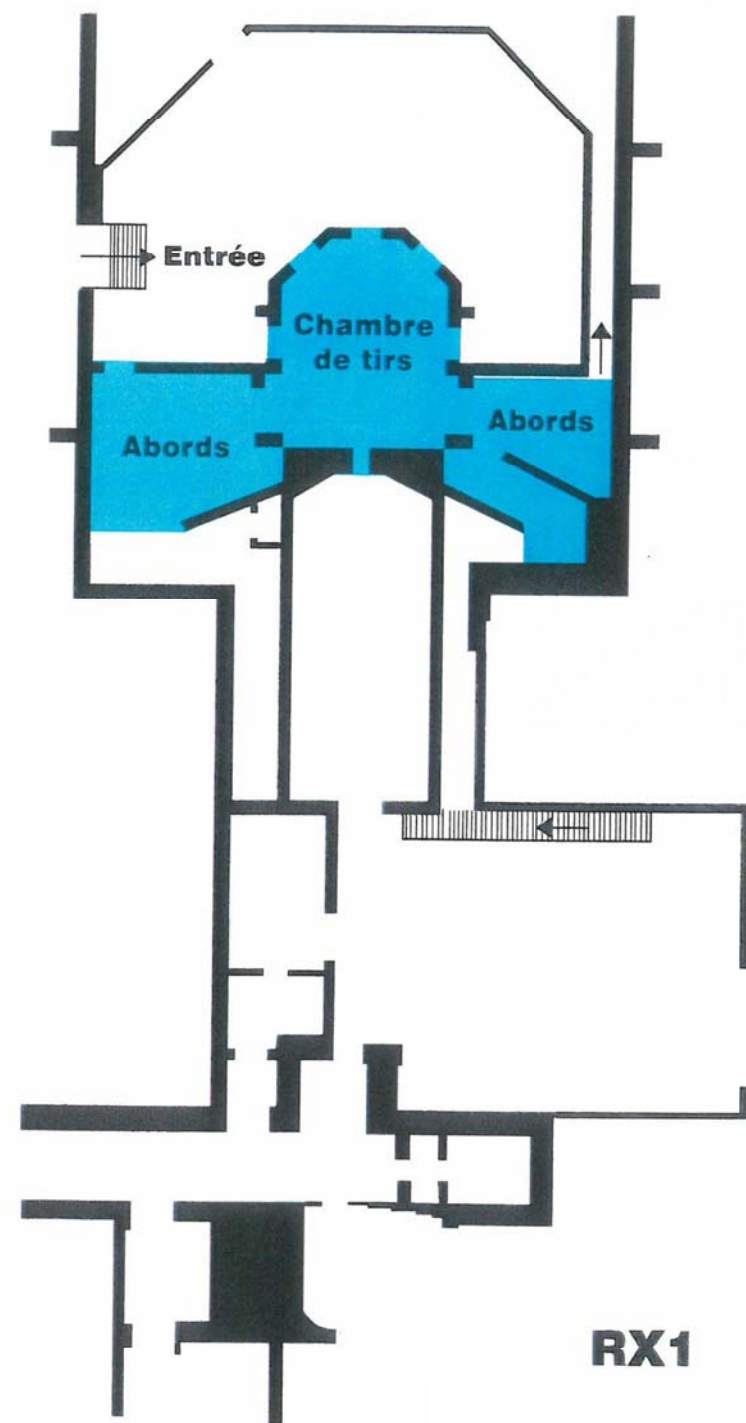




ANNEXE 27

Plan de la casemate RX1





ANNEXE 28

Plan de la casemate RX3

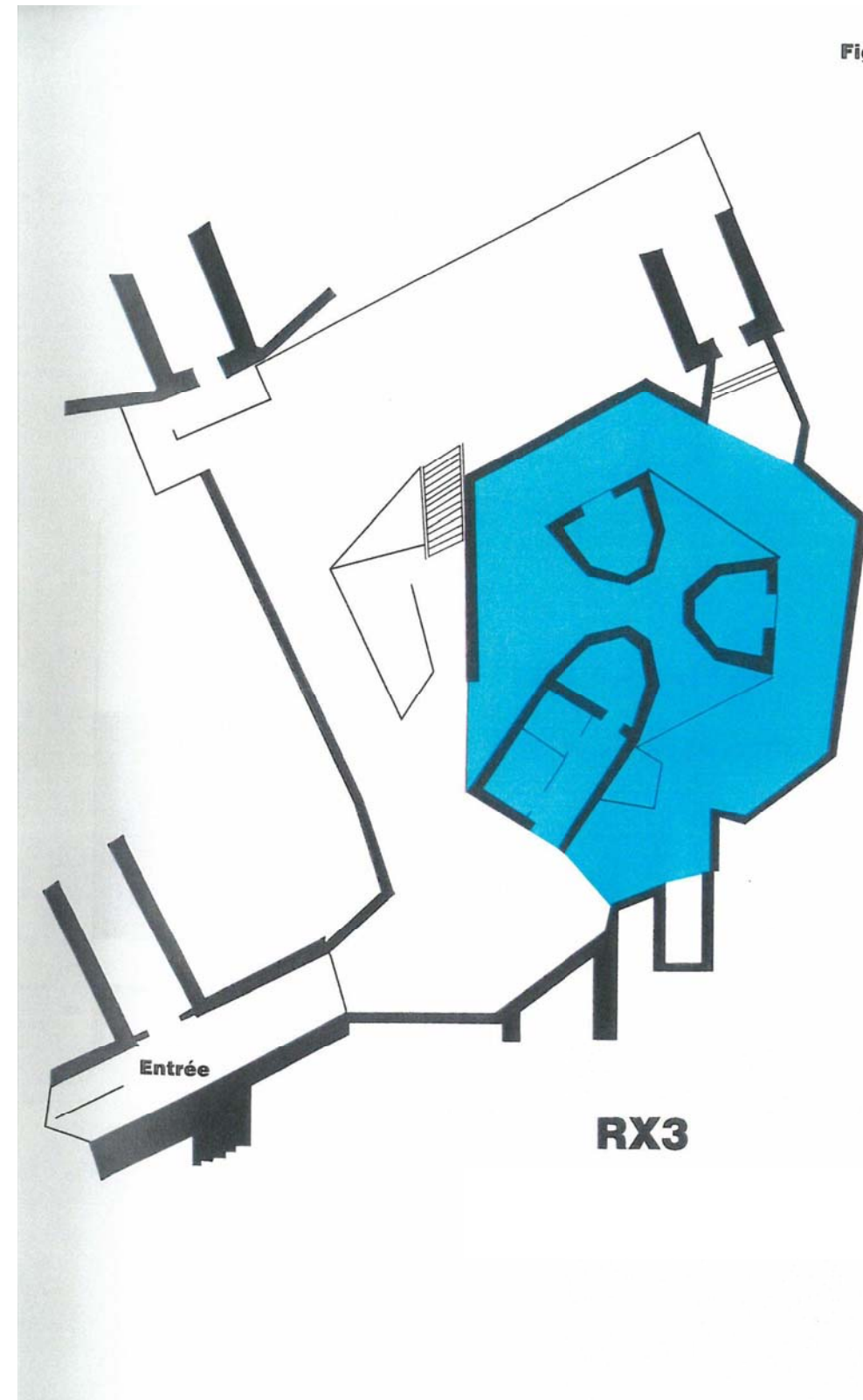
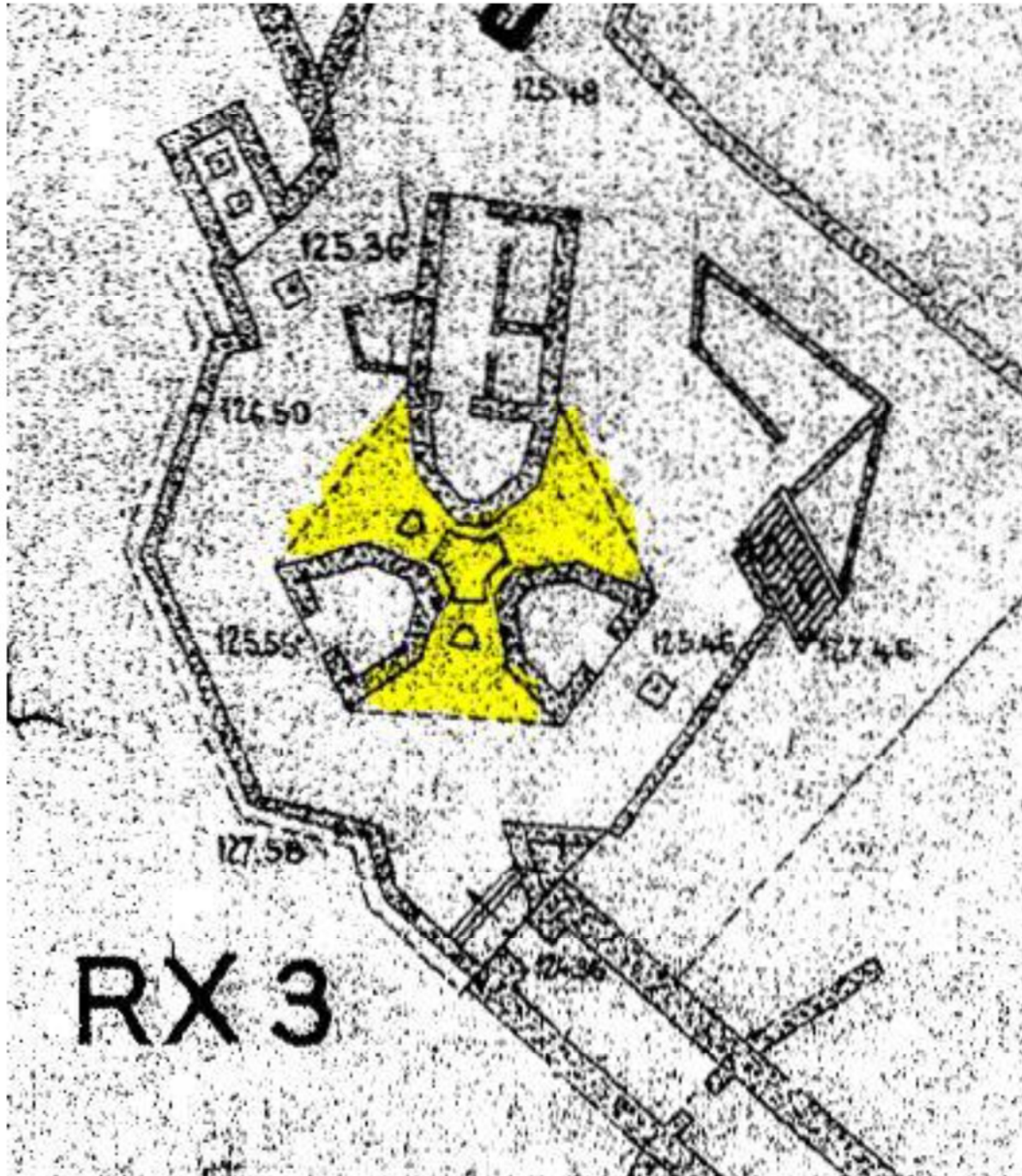
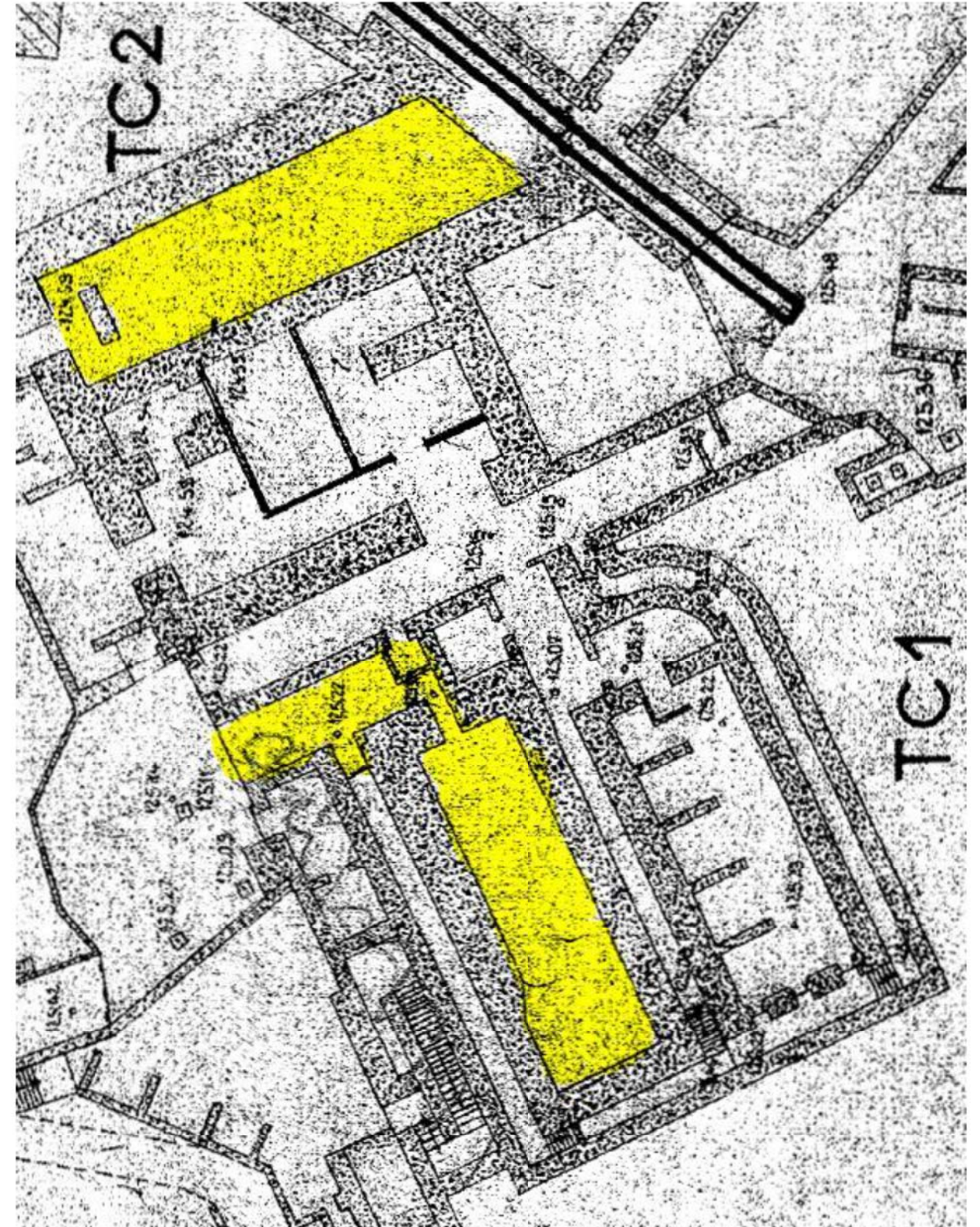
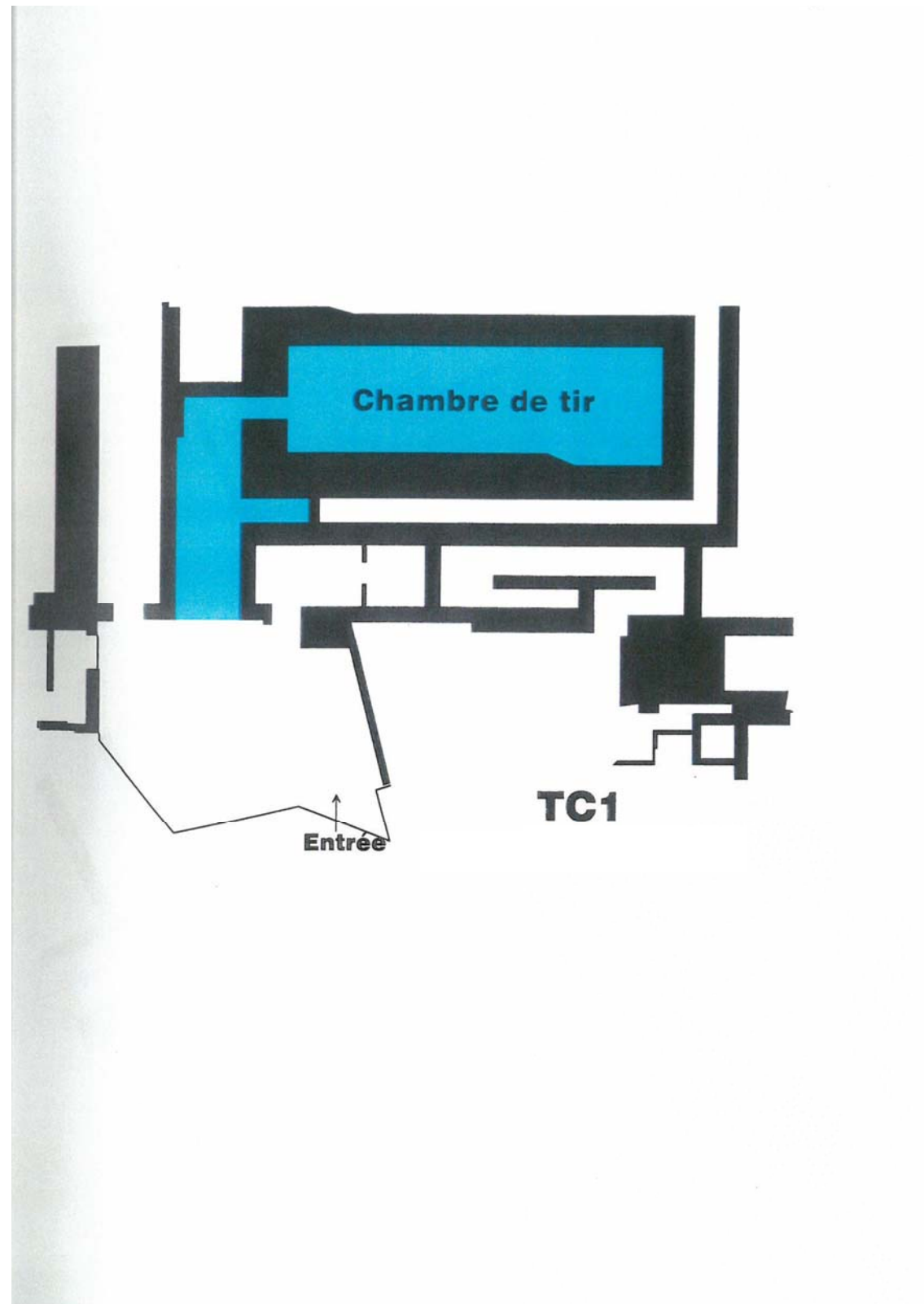


Figure 4

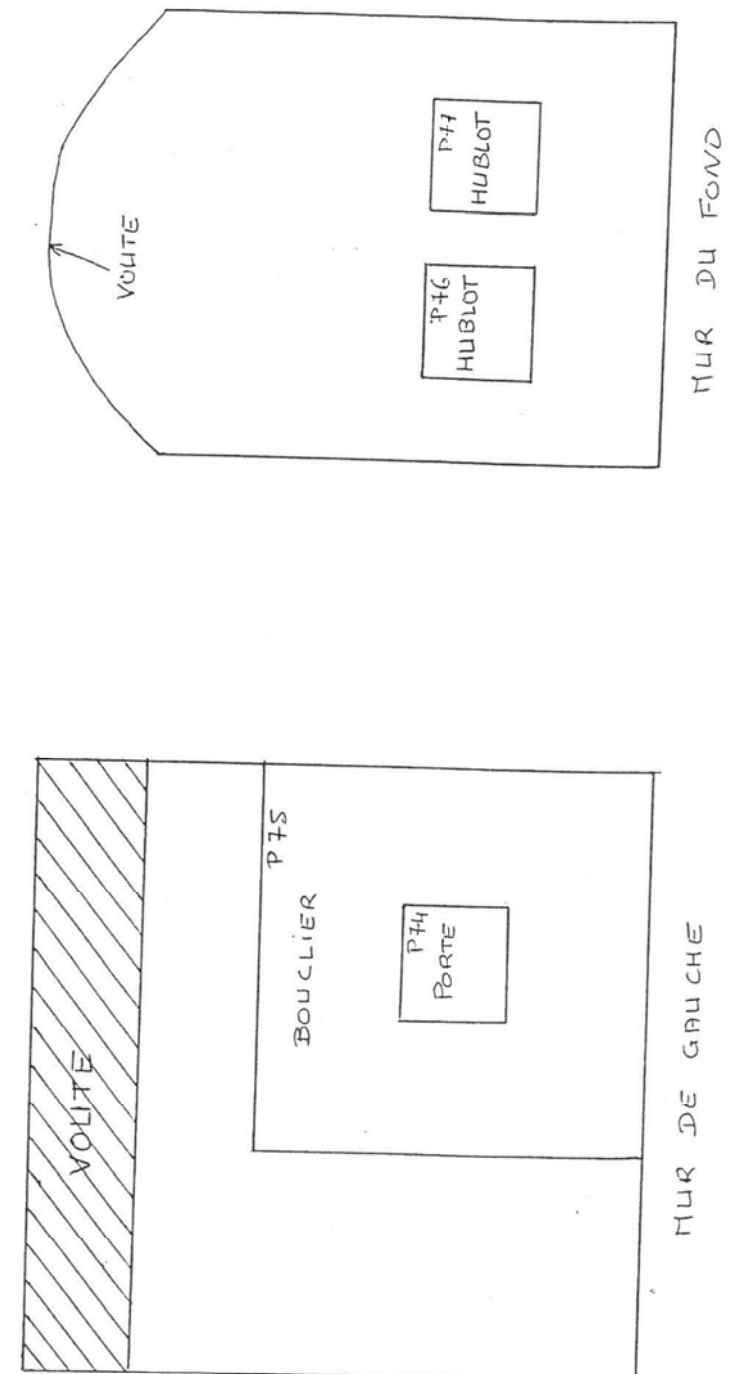
ANNEXE 29

Plan de la casemate TC1-TC2



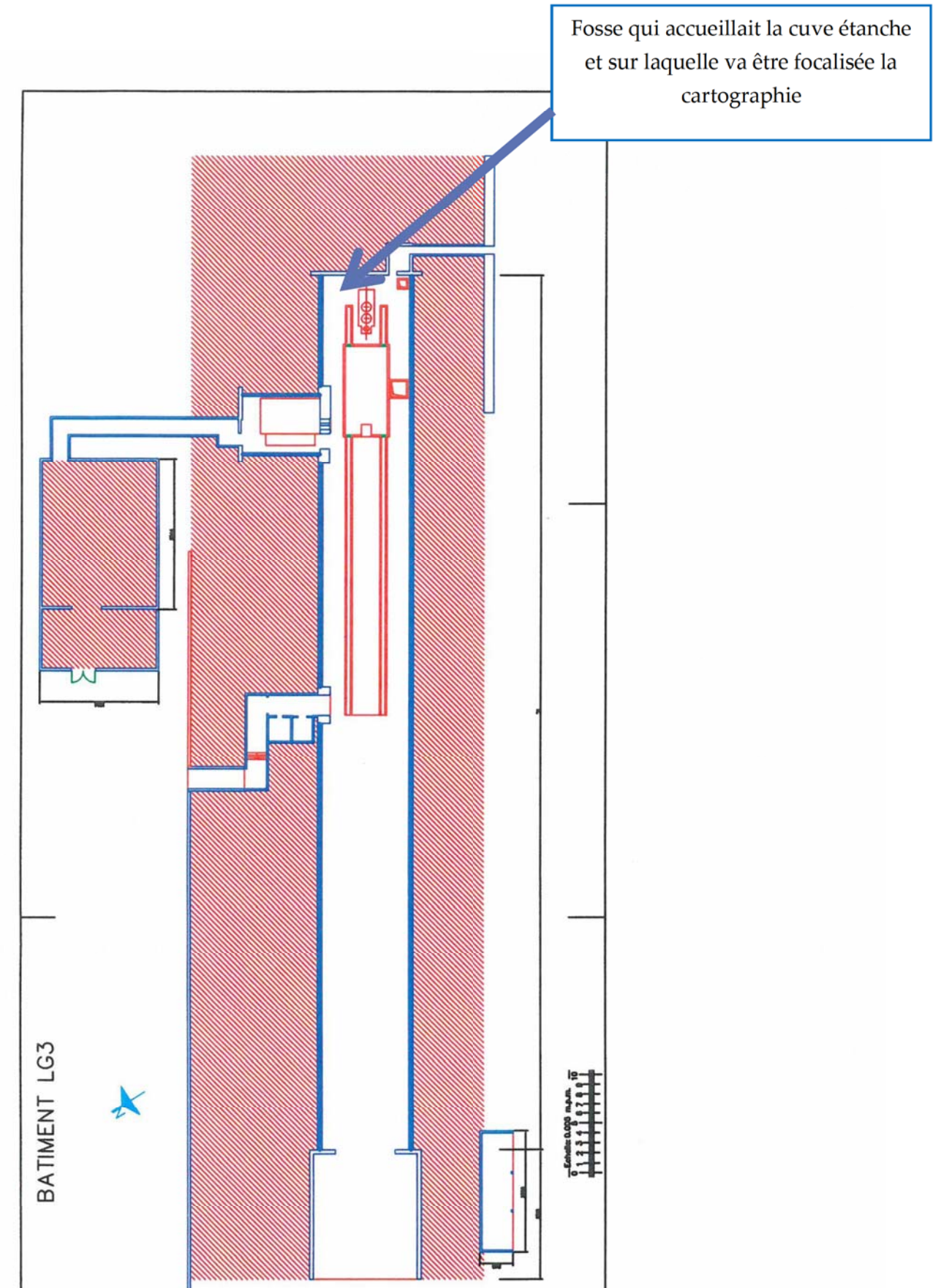


SAS ENTRÉE
(22.10.96)



ANNEXE 30

Plan du bâtiment LG3



ANNEXE 31

Caractéristiques des sondes de détection

Caractéristiques des sondes de détection

Contexte

Cette étude permet de **démontrer** expérimentalement que des équipements de détection β de grande surface permettaient d'atteindre « confortablement » les seuils couramment utilisés de 0,4 Bq/cm² et 1Bq/g pour de l'uranium. Elle permet également de conforter le type d'équipements proposés dans le Protocole, choisis en raison de leur grande surface et de leurs limites de détection.

Dans ce qui suit, l'étalonnage a été réalisé avec une source d'uranium de même nature que celle utilisée sur le site de Vaujourn. Enfin, on fera l'assimilation de 1Bq/g $\cong$ 1Bq/cm² ce qui est acceptable en première approximation pour le contrôle surfacique de murs.

La détermination des caractéristiques de la sonde de détection β

Pour compléter les données « constructeur », une étude a été menée sur une sonde de grande surface (100 cm²) étalonnée à partir d'une source étalée de 100 cm². Celle-ci a été réalisée à partir d'une source « uranium manufacturé » étalonnée en laboratoire par spectrométrie gamma et compteur proportionnel. L'activité de la source $A_{\beta} = 392 \text{ Bq} \pm 23\%$ permet de calculer le rendement de détection.



Figure n°1 : Photographie de la sonde SAB100 (100cm²)

Les résultats suivants ont été obtenus :

- le bruit de fond de la sonde : 1,9 c/s
- Mesure de la source « étalon » : 64 c/s
- Rendement : 15,8 % $\pm$ 24%

Dans ces conditions,

1 Bq/cm² sont équivalent à 16 c/s ou encore 1 c/s équivalent à 0,06 Bq/cm².

Une valeur de 3 fois le BdF conduit à ~ 0,3 Bq/cm².

Dans le cas des contaminations potentielles des murs, il est possible d'assimiler l'activité surfacique à une activité volumique. Dans ces conditions, le seuil de 1Bq/g conduit à près de 9 fois le BdF ce qui rend la détection aisée.

Enfin, pour des surfaces de sonde plus importante, la limite de détection est encore améliorée. Notons que les surfaces de détection des sondes préconisées dans le rapport sont respectivement de 400 cm² pour la SAP400 et 170 cm² pour la LB124 et pour une limite de détection de l'ordre de 0,04 Bq/cm².

REMARQUE : pour améliorer encore la limite de détection, il est possible de faire des mesures par *intégration*. Par exemple, sur 10 et 30 secondes, les limites de détection sont respectivement $LD_{\beta} \leq 0,08 \text{ Bq.cm}^{-2}$ et $LD_{\beta} \leq 0,05 \text{ Bq.cm}^{-2}$ **pour la sonde SAB100.**

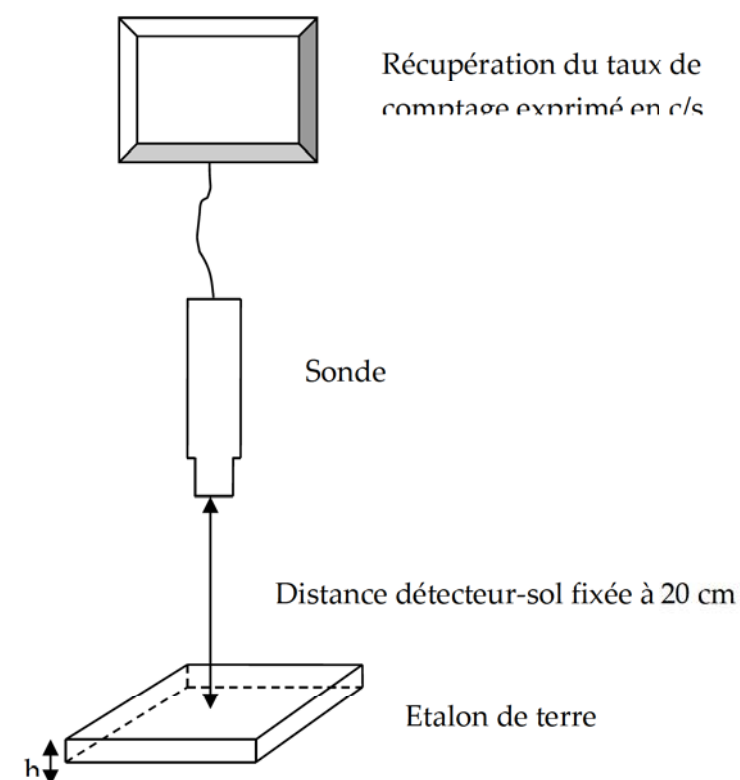
Conclusion

Cette étude technique permet de s'assurer que les mesures de non contamination réalisées en mode direct sur les surfaces à contrôler dans les bâtiments permettent d'atteindre des limites de détection, exprimées en activité surfacique, inférieures aux valeurs seuils de 0,4 Bq.cm⁻² ou 1Bq/g.

Le détecteur SPP2

Cet équipement est largement utilisé pour la recherche d'anomalie radiologique. Une étude a été réalisée avec une source étendue (15x15 cm) constituée de terre présentant une concentration massique homogène en uranium comparable à celui de Vaujours. En synthèse, les principaux résultats sont présentés ci-dessous.

Pour une distance de détection de 20 cm au-dessus de la source :



L'activité massique totale de l'échantillon relative aux seuls radioisotopes de l'Uranium (U234, U235 et U238) est évaluée à :

$$A_{\text{Uranium}} = (5,77 \pm 0,14) \cdot 10^{+5} \text{ Bq pour 1 kg de terre préparée}$$

Dans ces conditions, en fonction de l'épaisseur de la source pour une même activité volumique, le taux de comptage net (déduit du bdf) varie entre 30 et 90 c/s pour une épaisseur de la source variant respectivement de 10 à 50 mm. Au-delà de 50 mm, le signal reste relativement constant.

On obtient respectivement des facteurs de conversion pour une distance de détection à 20 cm du sol :

Pour 10 mm d'épaisseur : 1 c/s $\cong$ 20 Bq/g

Pour 50 mm d'épaisseur : 1 c/s $\cong$ 6,4 Bq/g

Soit, pour une distance de 5cm du sol (condition expérimentale de Vaujours) :

Pour 10 mm d'épaisseur : 1 c/s $\cong$ 1,2 Bq/g

Pour 50 mm d'épaisseur : 1 c/s $\cong$ 0,4 Bq/g

Pour une contamination plus étendue que la source d'étalonnage (cas d'un sol uniformément contaminé), ces facteurs de conversion sont encore plus favorables puisque la détection varie avec l'angle solide. C'est donc un appareil particulièrement adapté à la détection d'anomalie. Cette étude en fonction de l'épaisseur de la couche contaminée (à concentration constante) permet de valider le concept d'emploi.

ANNEXE 32

Limite d'exposition (source IRSN)

Limites d'exposition

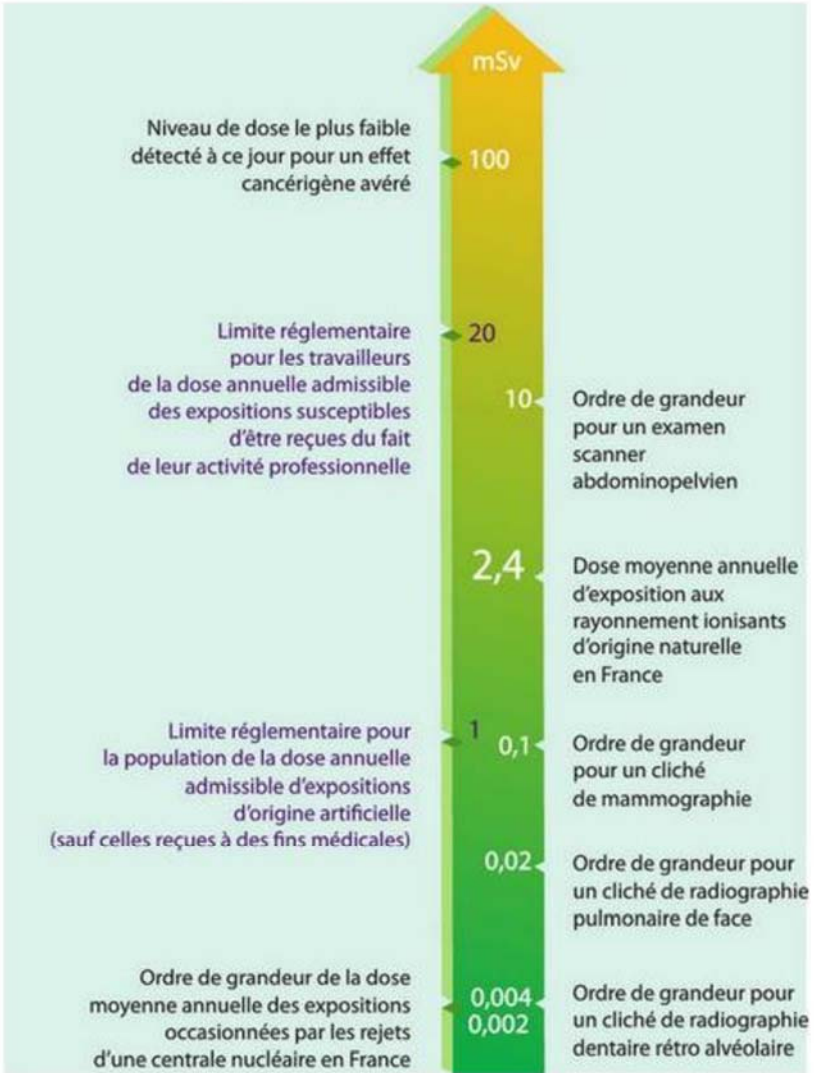
Pour la population, la limite annuelle d'exposition de 1 mSv s'applique à la somme des doses reçues en dehors de la radioactivité naturelle et de la médecine.

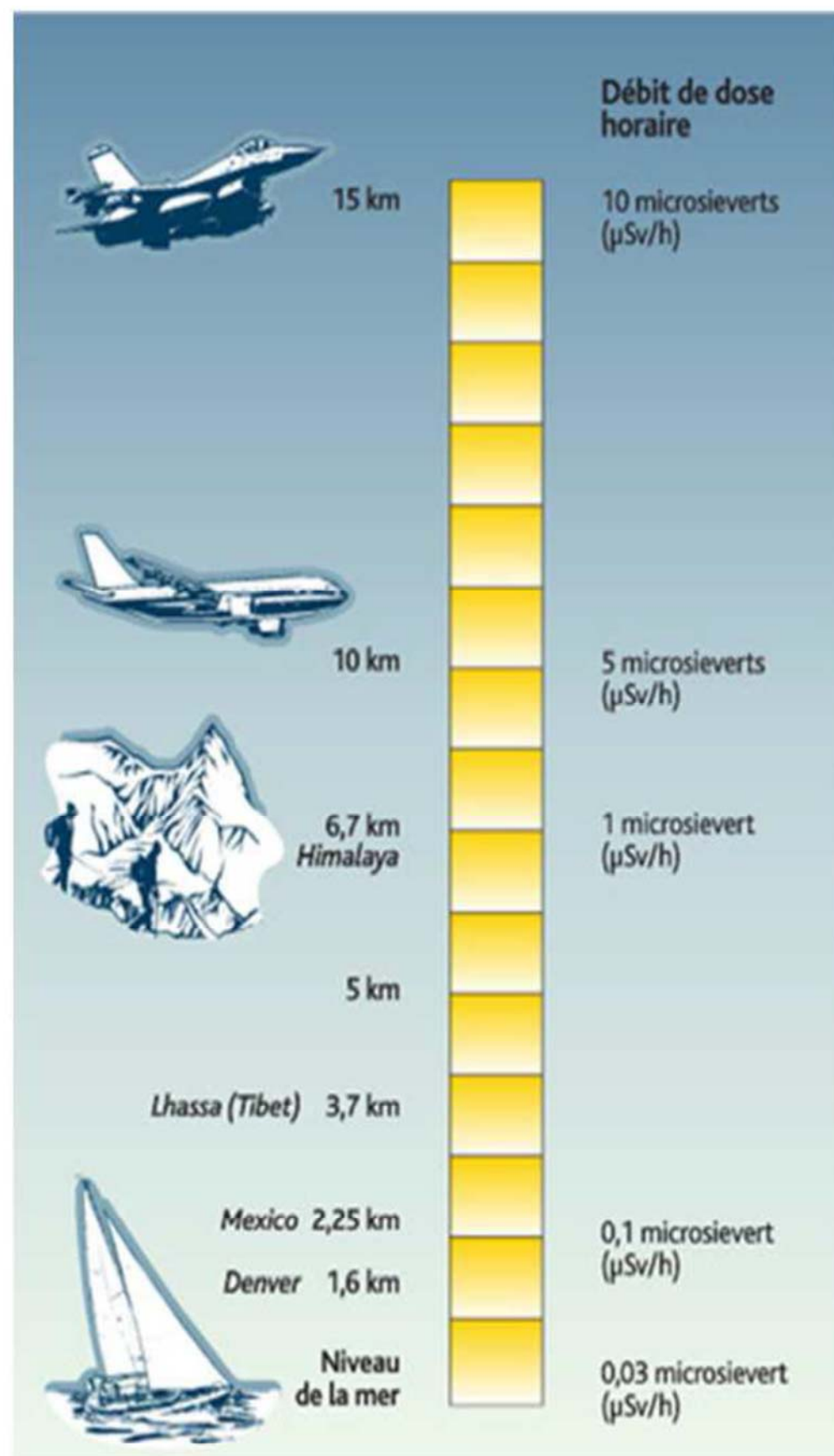
Si l'on appliquait cette limite à ces deux causes, on ne pourrait pas subir un scanner, il faudrait renoncer à l'avion, abandonner l'alpinisme, ou ne pas habiter dans les régions granitiques de France.

Cette dose maximale admissible de 1 mSv par an, qui représente en moyenne environ 40% de l'exposition naturelle, peut sembler excessive comparée aux 0,06 mSv dus aux activités humaines une fois le médical exclu et plus encore aux 0,002 mSv de l'impact d'une centrale nucléaire. D'un autre côté, une dose de 1 mSv est considérée en radioprotection comme une dose faible, voire très faible.

Pour les personnes qui travaillent avec des radiations ionisantes, la limite réglementaire est de 20 mSv par an sur une période consécutive de 12 mois.

Doses efficaces et limites réglementaires





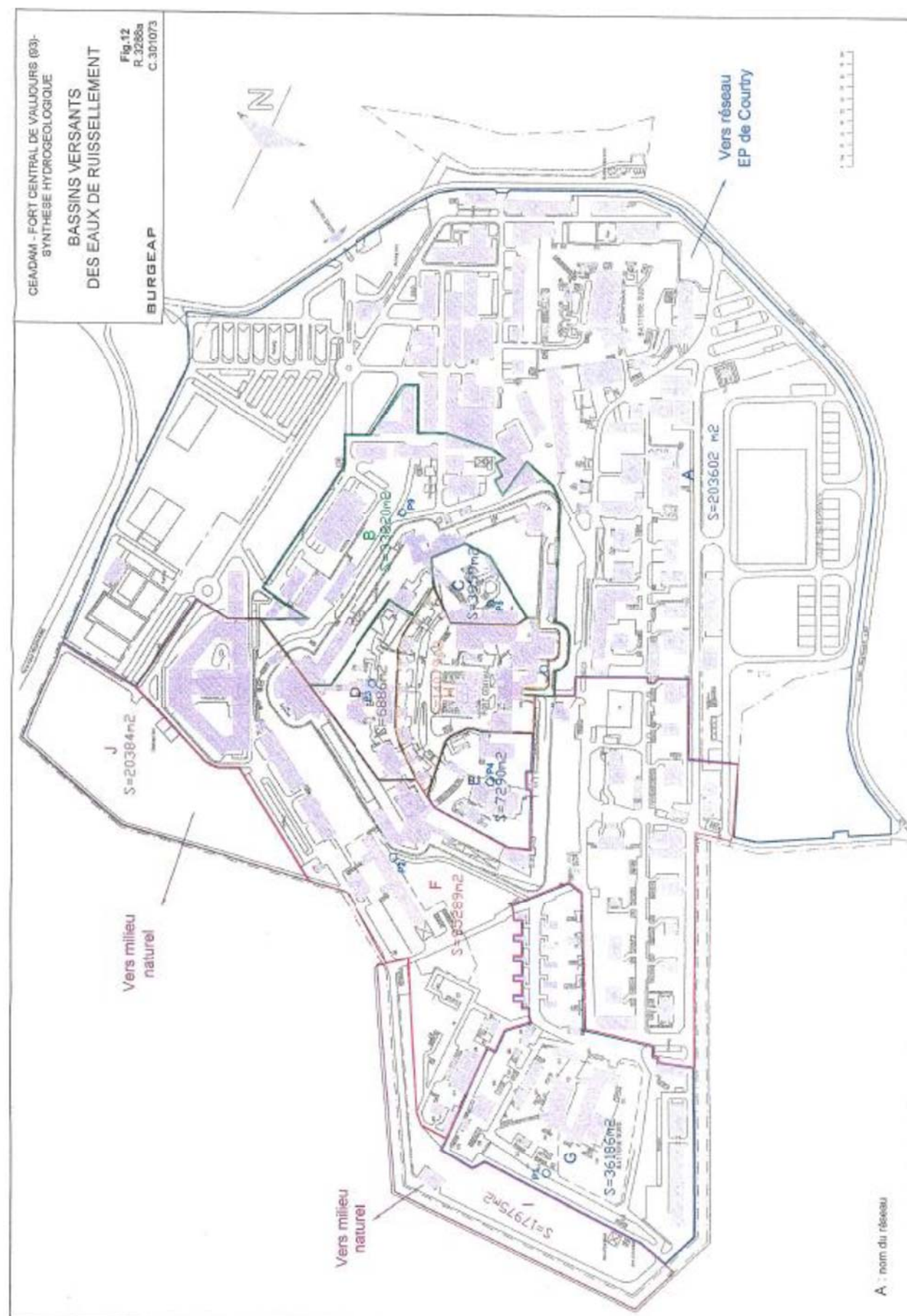
ANNEXE 33

Plan de masse de situation des réseaux EP & EU



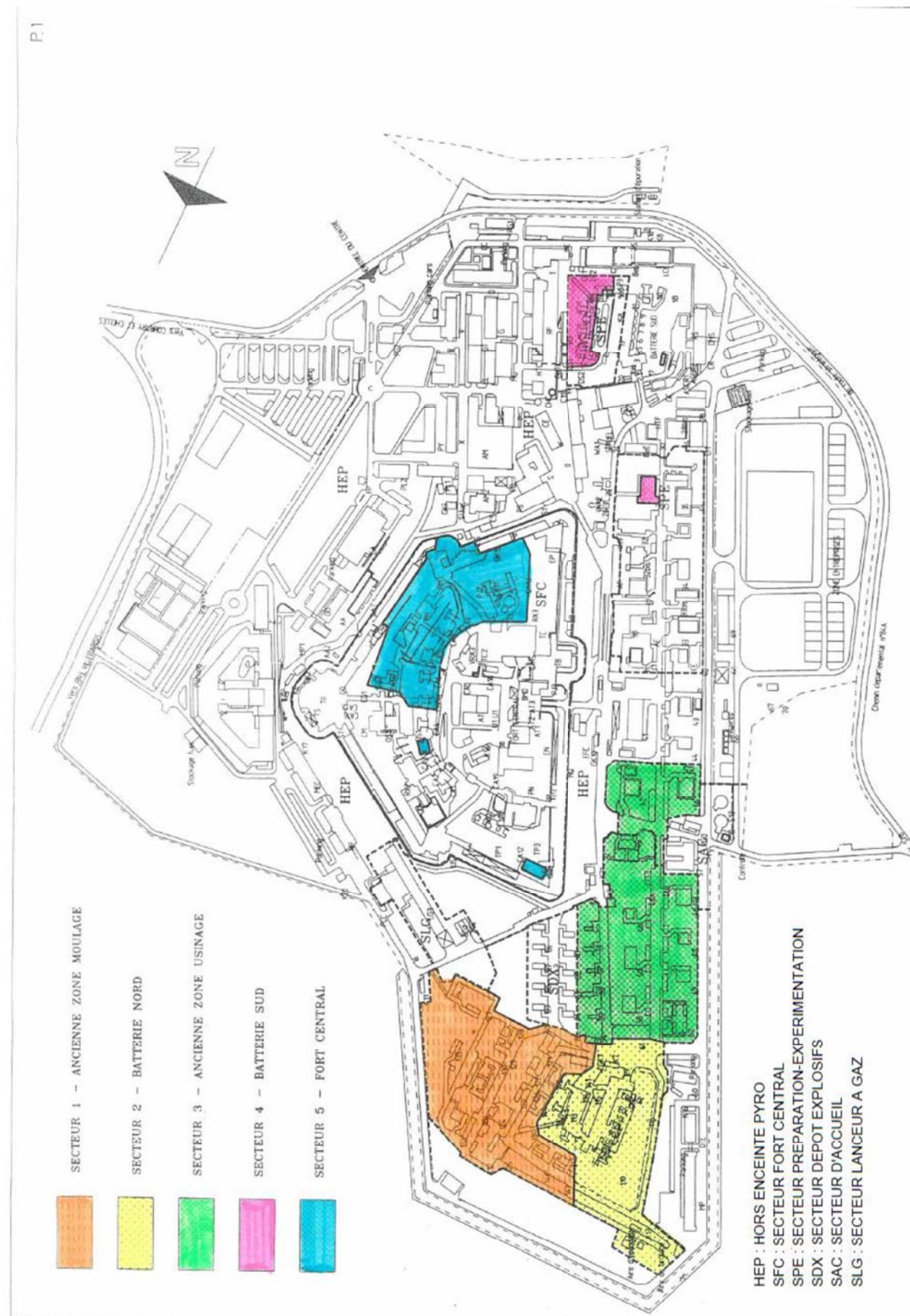
ANNEXE 34

Bassins versants des eaux de ruissellement



ANNEXE 35

Plan des secteurs liés à l'activité pyrotechnique



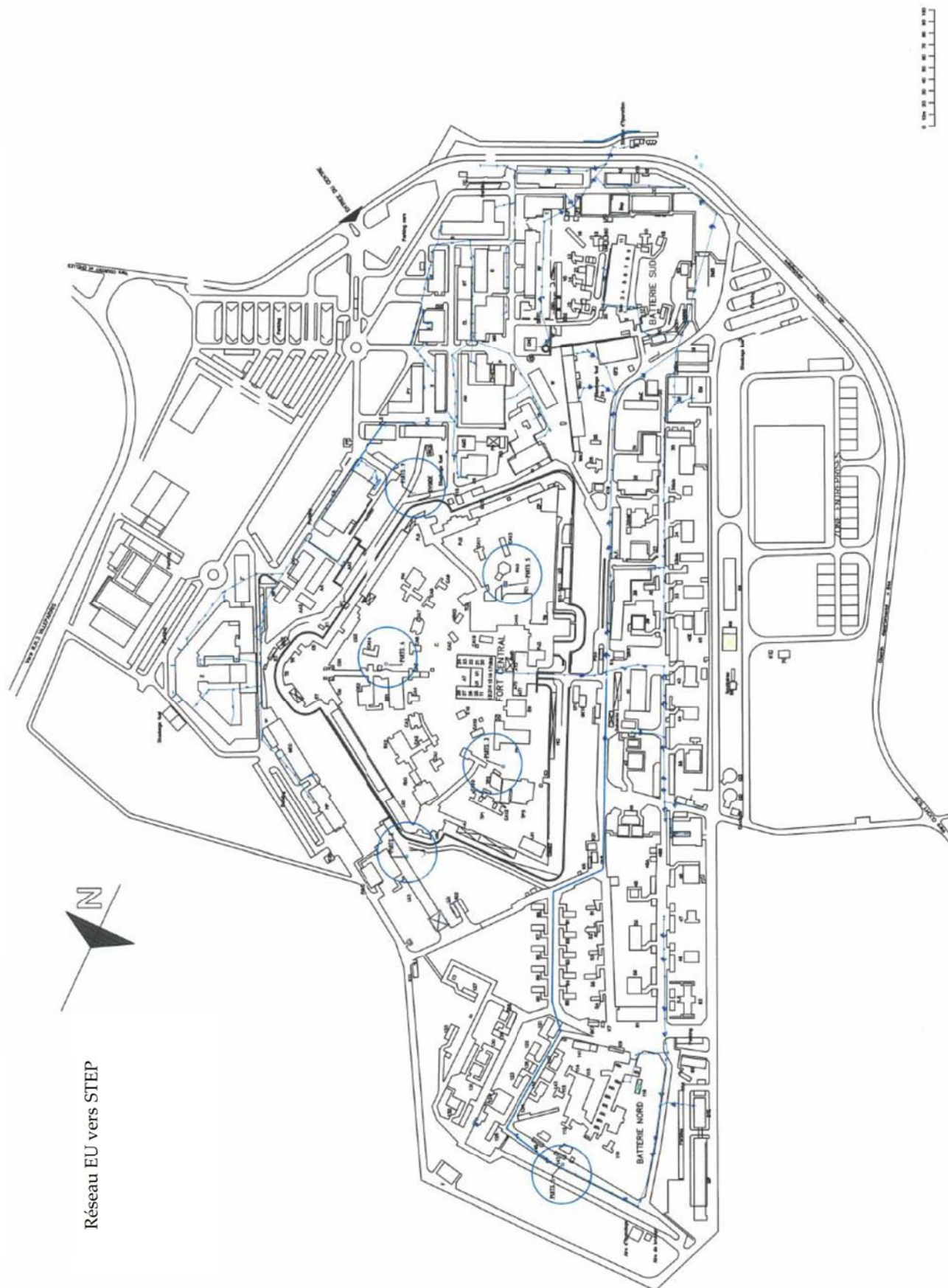
ANNEXE 36

Canal C1 : canalisations dirigées vers les fossés



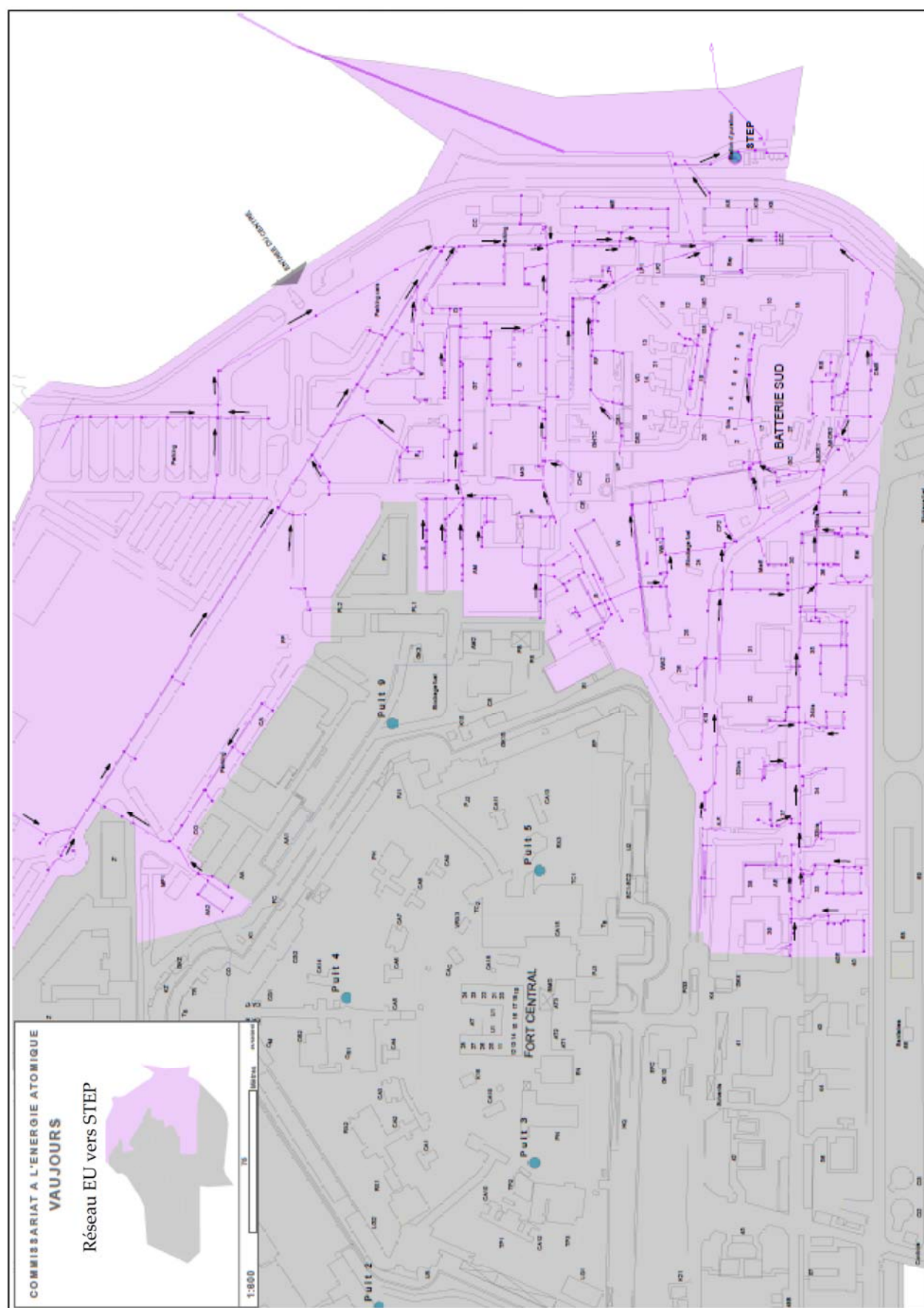
ANNEXE 37

**Canal C2 : canalisations reliées à la station d'épuration
depuis la batterie Nord**



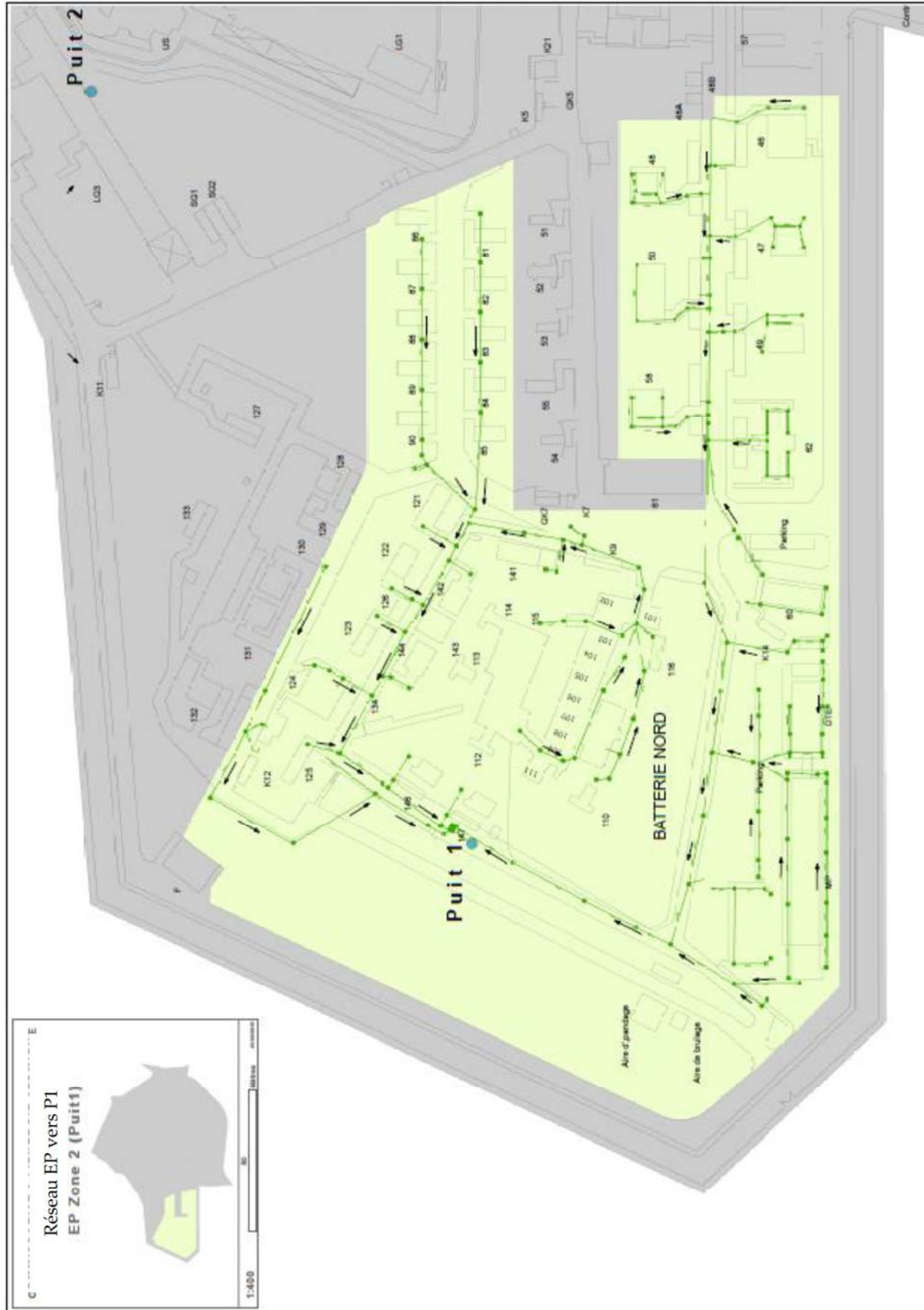
ANNEXE 38

Cana C2 : canalisations reliées à la station d'épuration
Zone Laboratoires & Bureaux



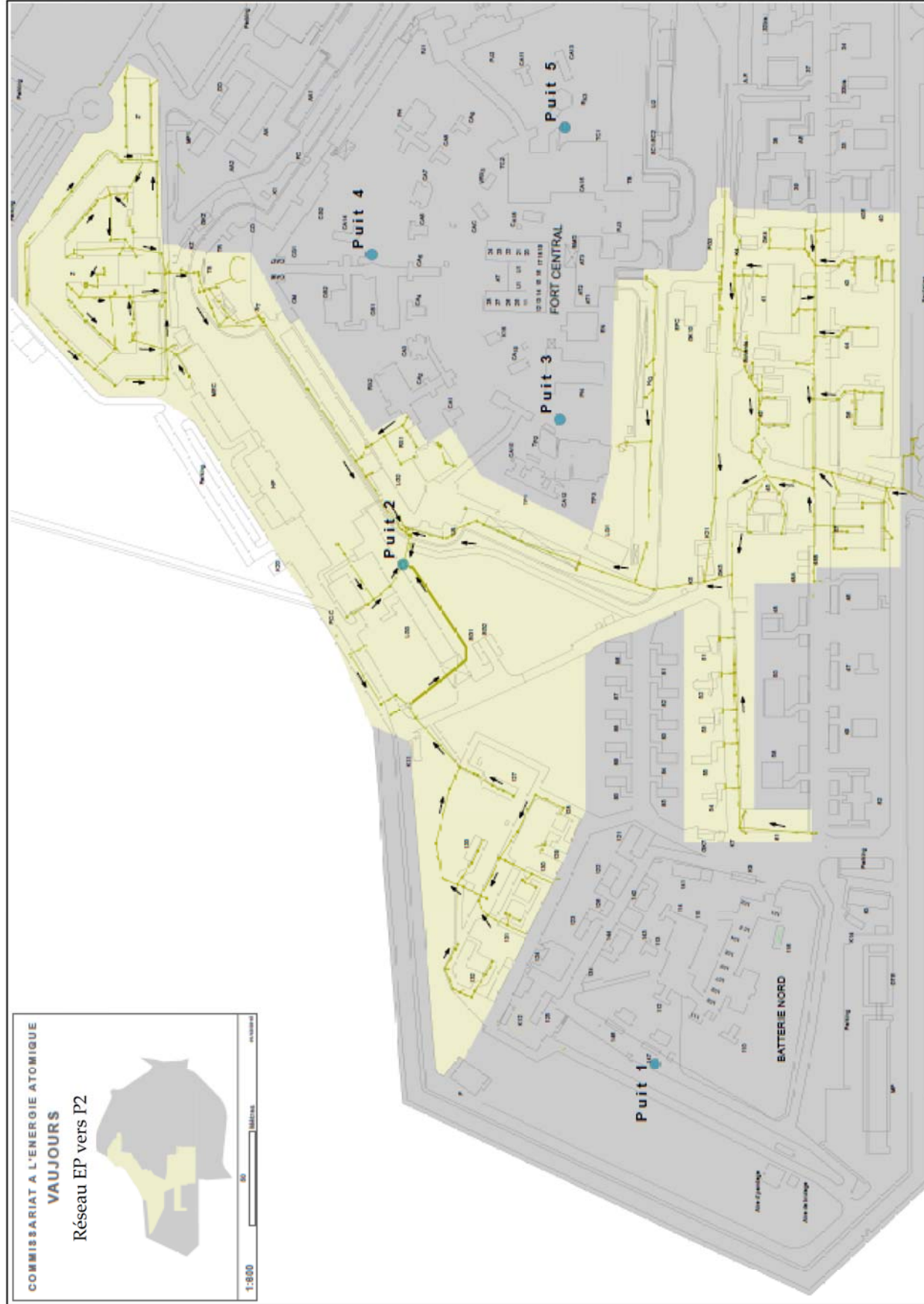
ANNEXE 39

Cana C3 : canalisations reliées au puits P1



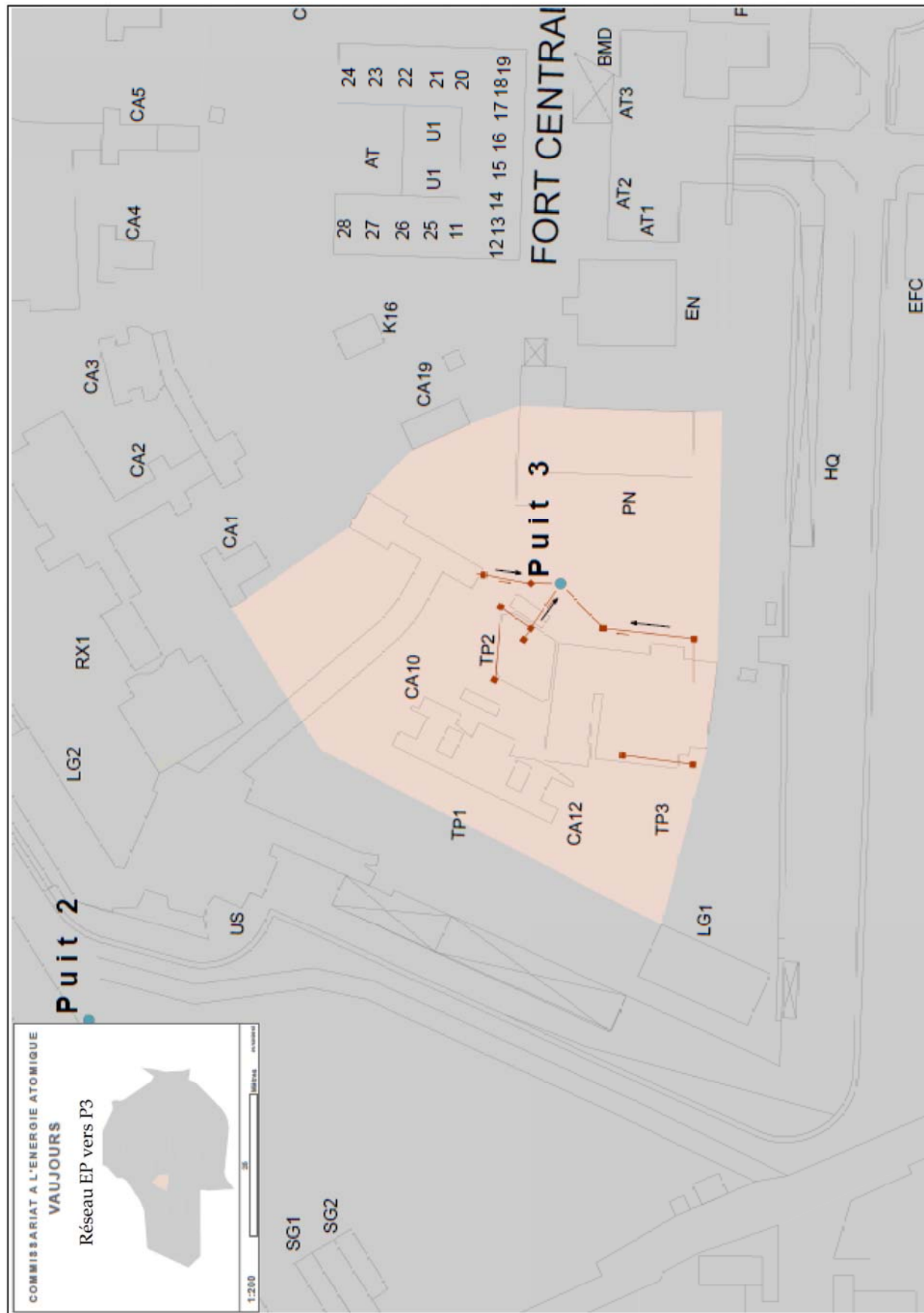
ANNEXE 40

Cana C4b : canalisations reliées au puits P2



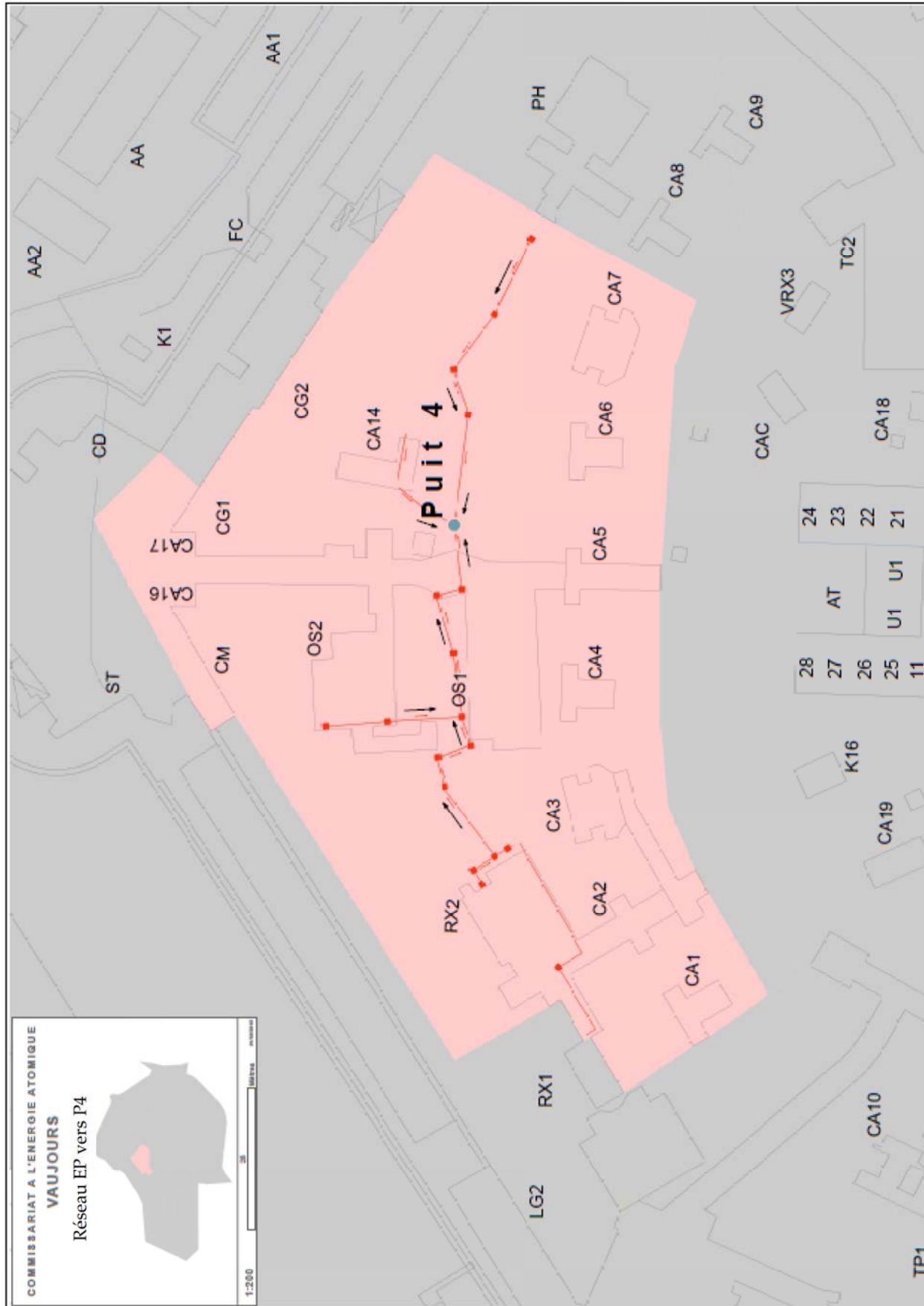
ANNEXE 41

Cana C4b : canalisations reliées au puits P3



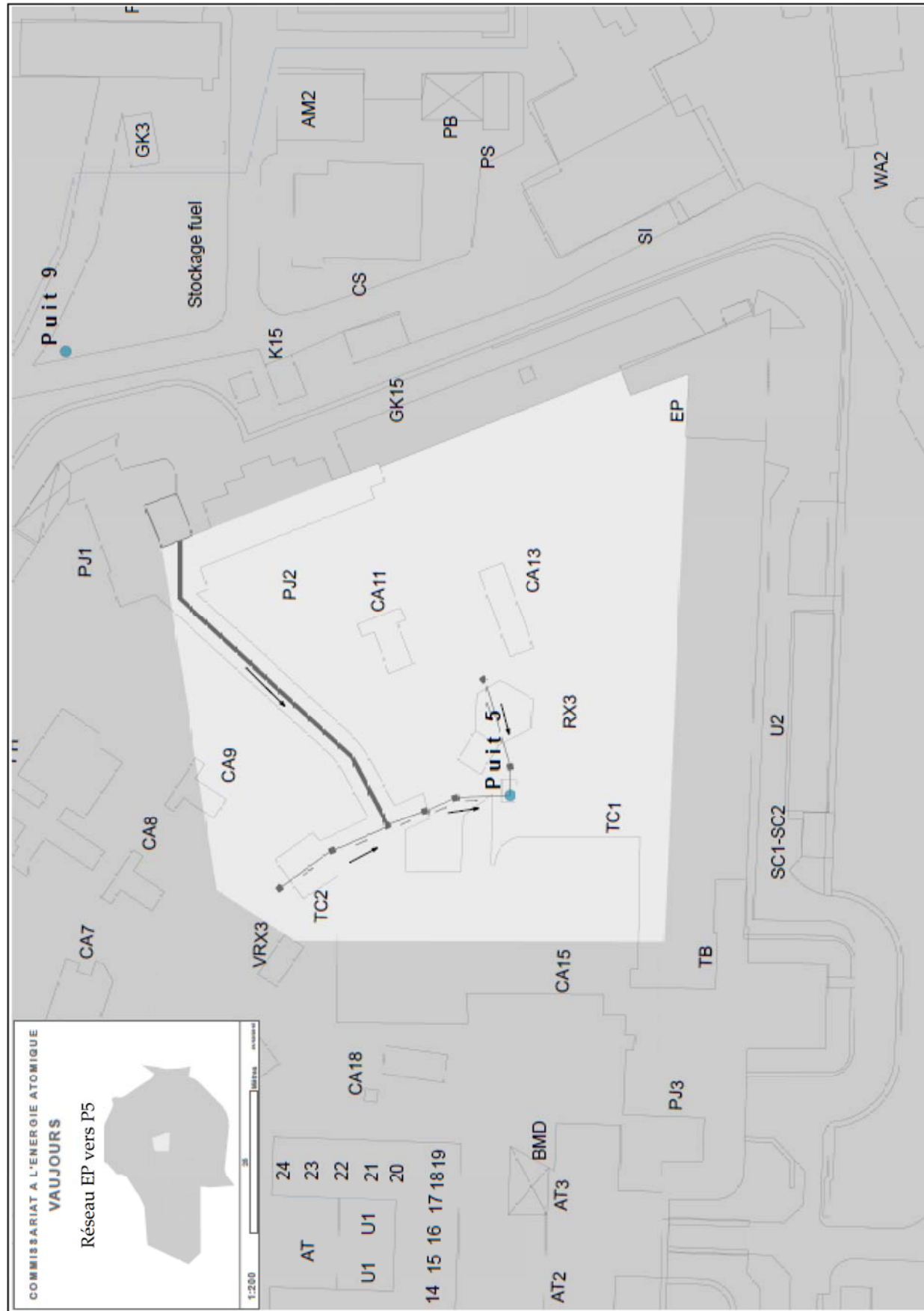
ANNEXE 42

Canal C4b : canalisations reliées au puits P4



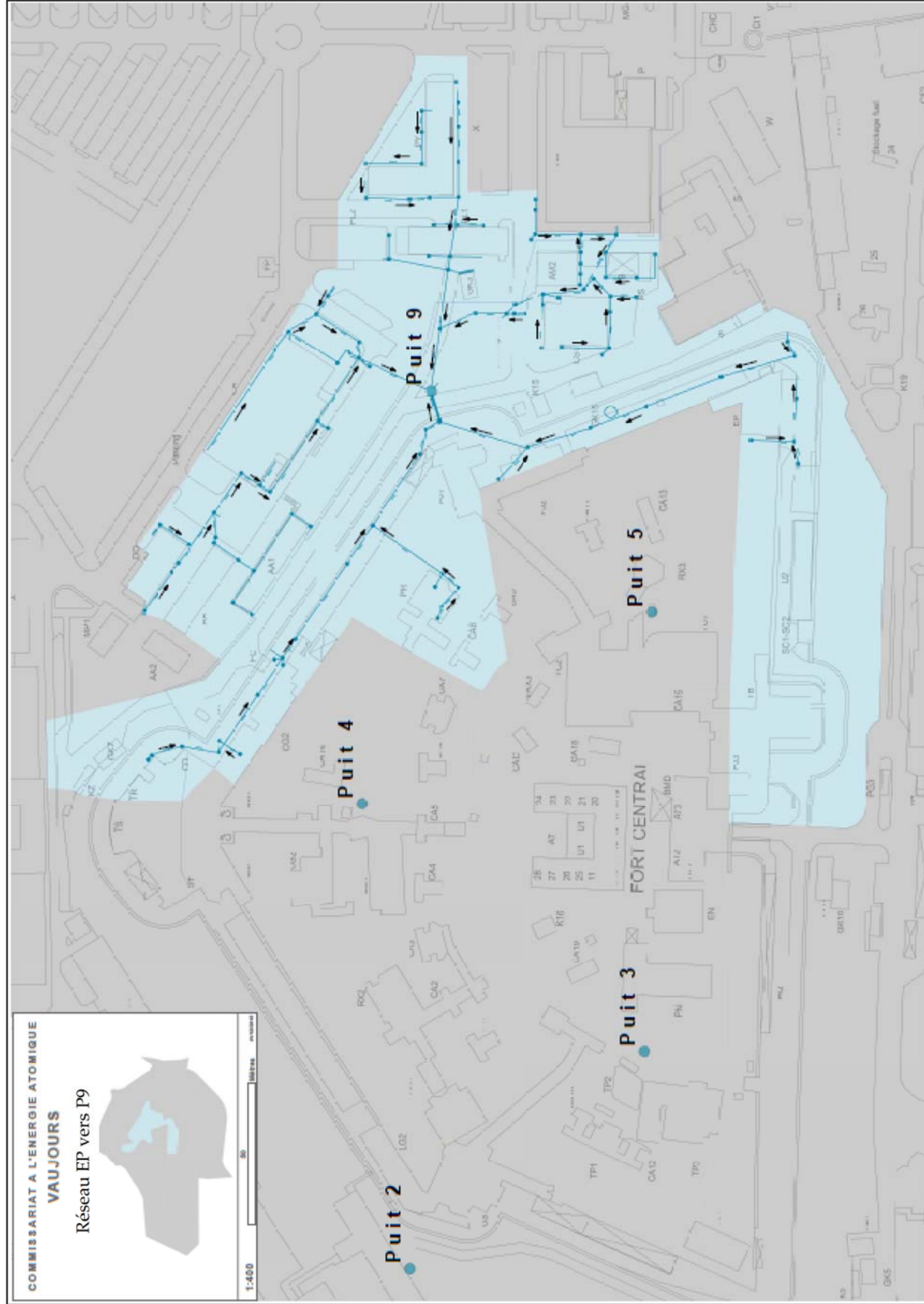
ANNEXE 43

Cana C4b : canalisations reliées au puits P5



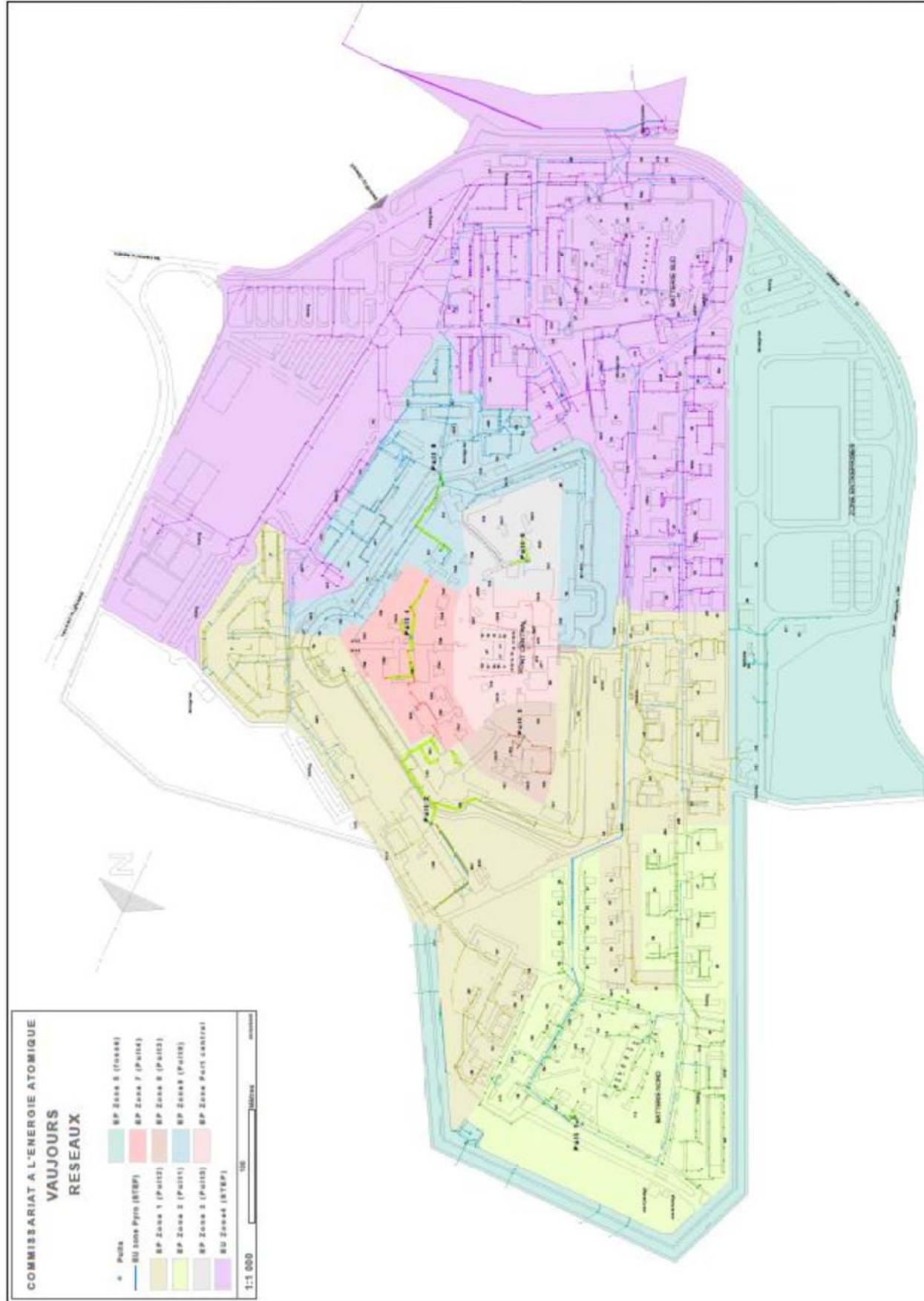
ANNEXE 44

Cana C4b : canalisations reliées au puits P9



ANNEXE 45

Cana C4a : canalisations reliées aux chambres de tirs



ANNEXE 46

Exemple de Fiche d'intervention



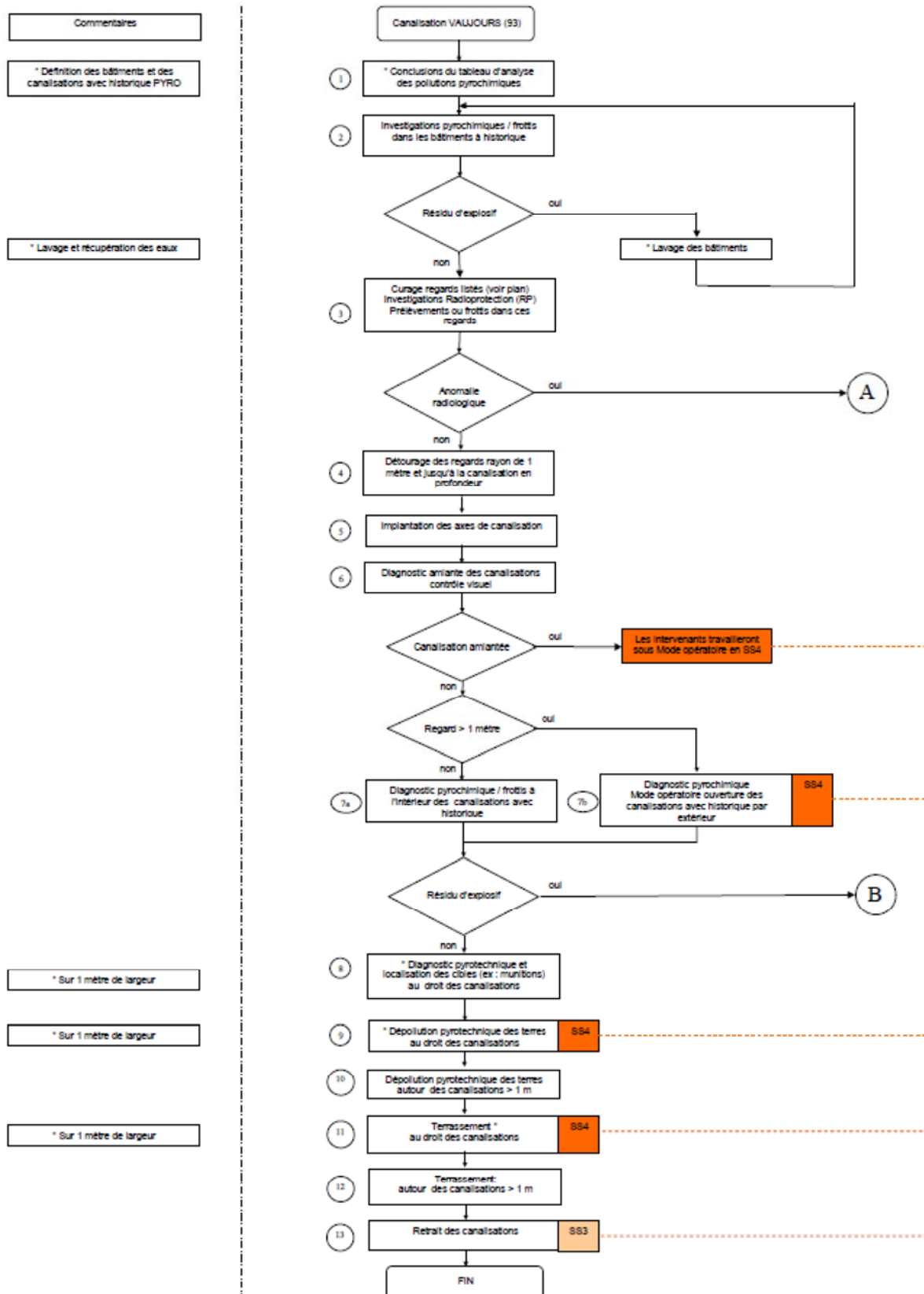
Fiche d'intervention avec suivi radiologique pour travaux dans le Bois de Guisy		Fiche n°1	
Nature des travaux	Déouanement parties de rayon de 100m		
Entrepises concernées	terrassement à -1M avec contrôle pyro et radio		
Zones concernées :	A6/B1 et B6/A9		
Bâtiments	sans objet		
Catégorie :	E		

EPI Spécifiques	Engins dans zone de chantier	Interdiction dans zone de chantier	Obligation en sortie de zone de chantier	Contrôle environnemental	Contrôle radio en sortie de zone de chantier	Evacuation matériaux dans zone dédiée sur site	Disposition particulière
FFP3 gants combinaison jetable	cabane pressurisée	boire ou manger	dépose des EPI dans containers se laver les mains	2 toilettes APA	Opérateur : manipulé Machine :		Neant

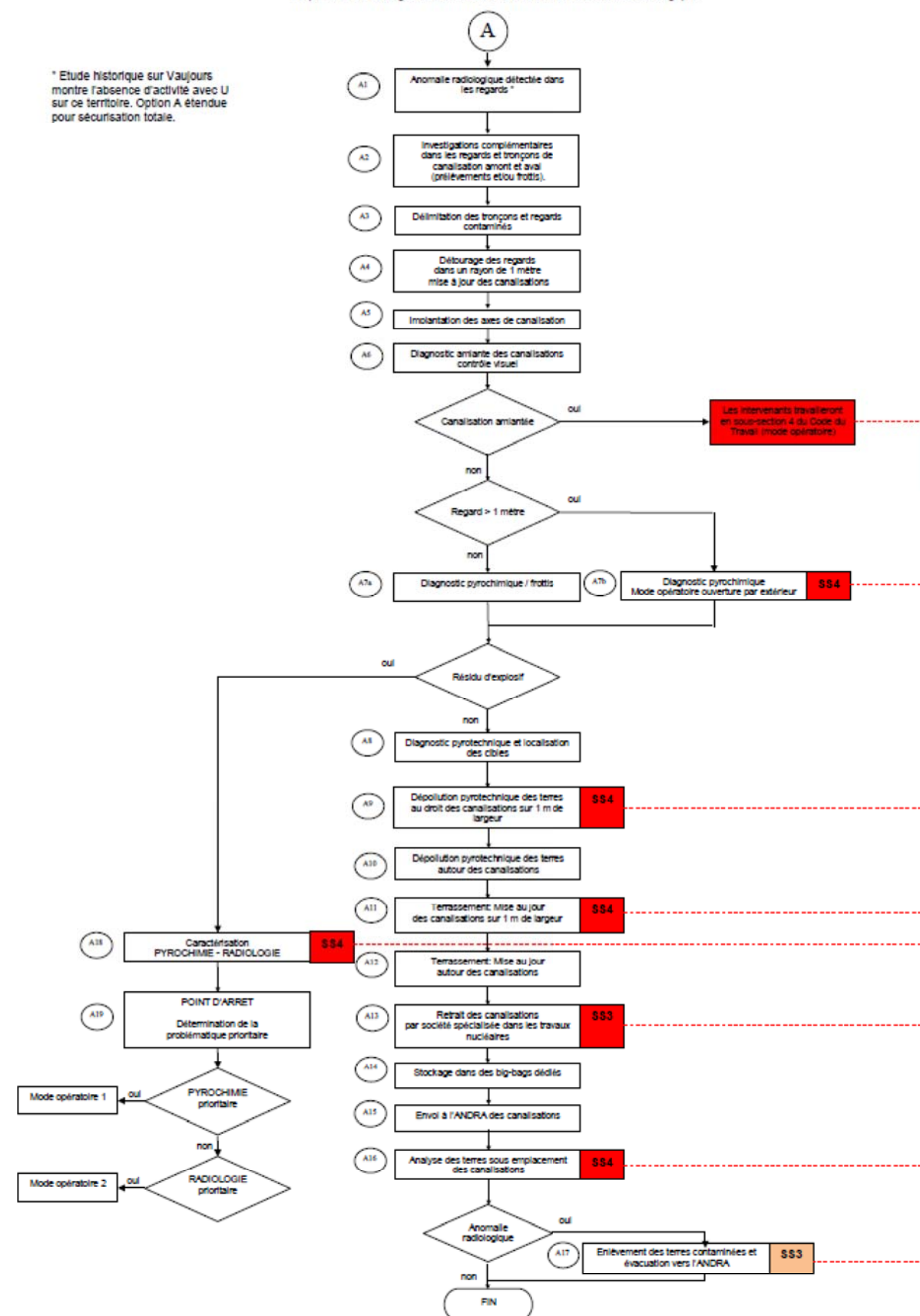
ANNEXE 47

Logigrammes du démantèlement des canalisations dans le périmètre de la Seine-Saint-Denis (93)

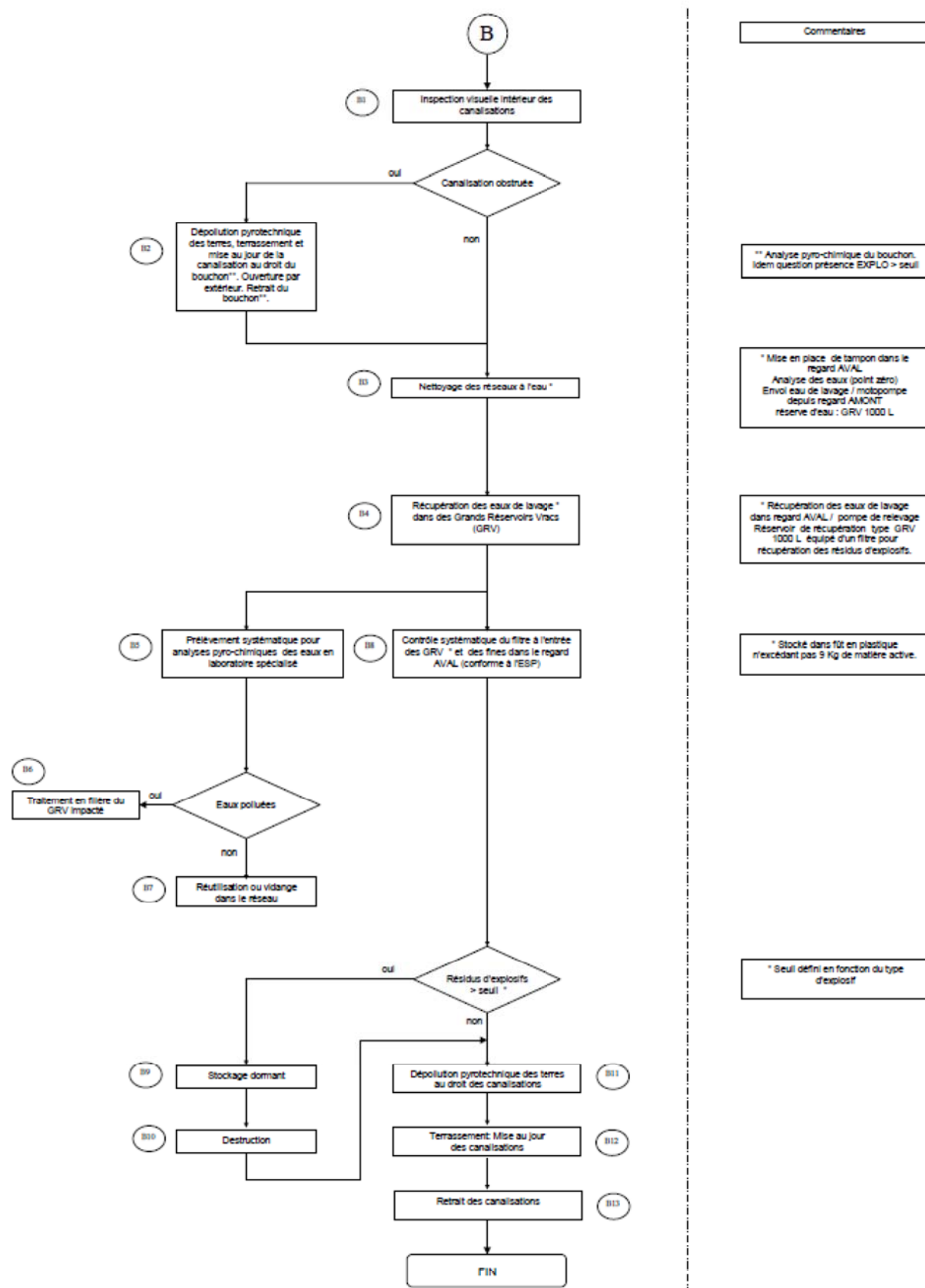
VAUJOURS (93)
Proposition de stratégie de traitement des canalisations EU et EP extérieures aux bâtiments



VAUJOURS (93)
Proposition de stratégie de traitement des réseaux avec anomalie radiologique

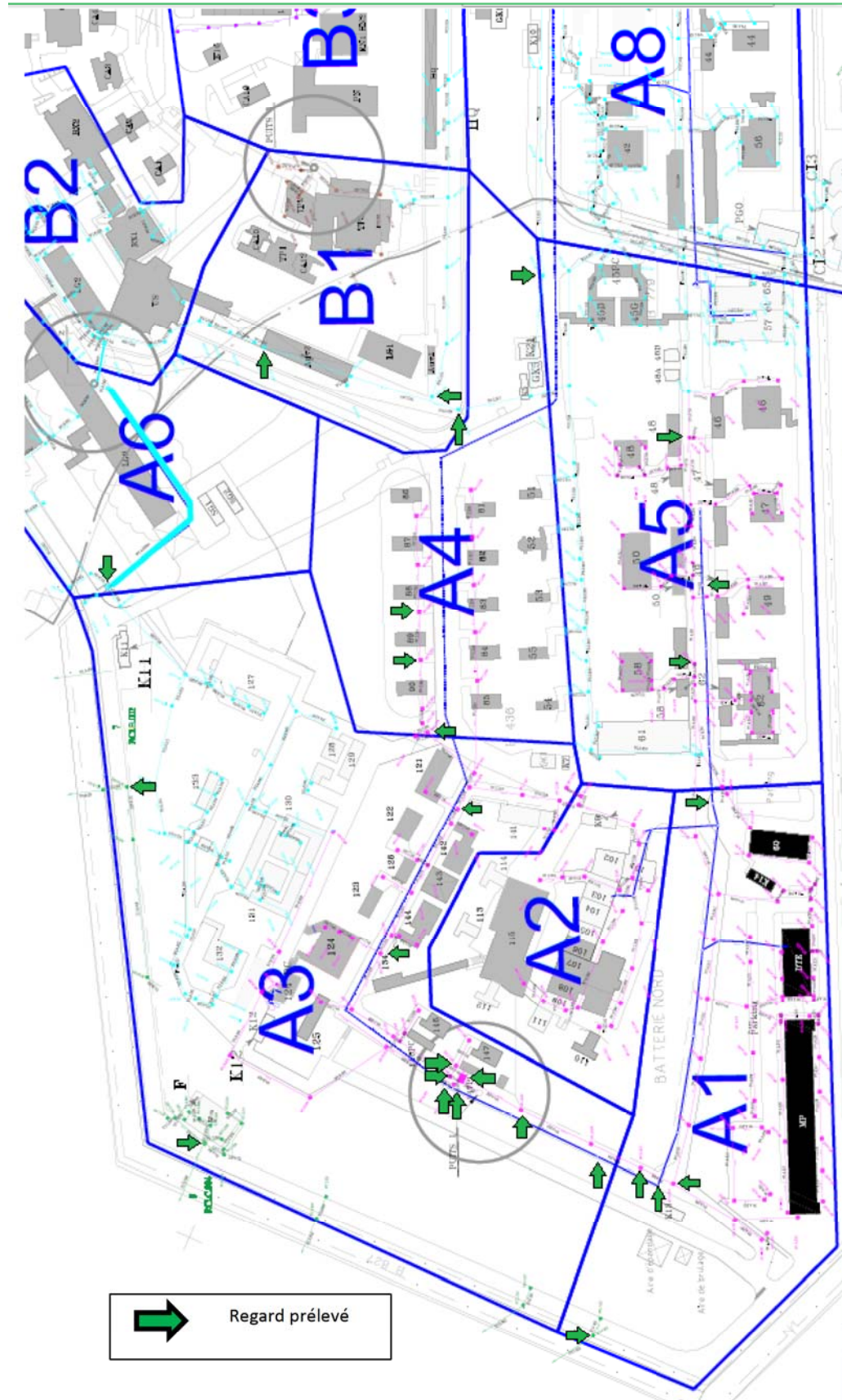


VAUJOURS (93)
Proposition de stratégie de traitement des réseaux avec problématique pyrotechnique



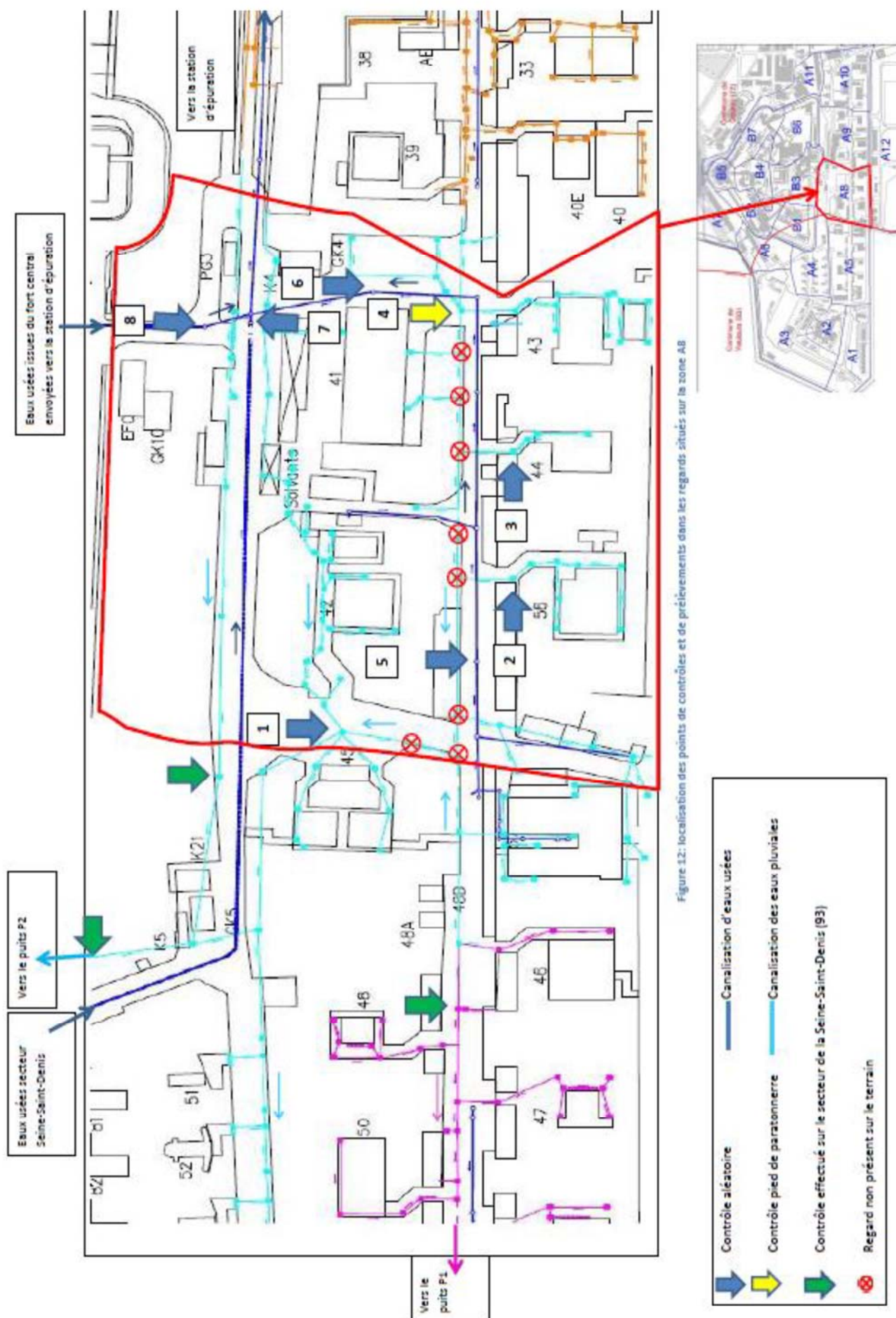
ANNEXE 48

Plan détaillé des canalisations dans le périmètre de la Seine-Saint-Denis (93)



ANNEXE 49

Plan détaillé des canalisations dans le secteur A8 (77)



ANNEXE 50

Méthode de détermination du bruit de fond radiologique pour le démantèlement des canalisations

1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

Le démantèlement des canalisations enterrées du site de Vaujours concerne un important réseau ayant contenu aussi bien des eaux usées que des eaux pluviales. Ces réseaux peuvent avoir traversé/ou non des zones de manipulation ou d'entreposage d'uranium, des zones de manipulation ou d'entreposage d'explosifs, être situés/ou non (au moins en partie) dans le fort central et avoir été/ou non connectés aux chambres de tirs.

En conséquence, ils devront faire l'objet de contrôles pyrotechniques et/ou radiologiques lors de leur démantèlement, tels que décrit dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1 : Caractéristiques des réseaux de canalisations enterrées

Canalisation	Type	Destination	Emplacement	Caractéristiques	Contrôles	
					Pyro	Radio
CANA C1	Eaux Pluviales	Vers fossés	Partie Nord A3 Terrain sport A12	Hors fort central Hors zones U* Non connectées aux CT** Hors zones explosif	Non	Oui++
CANA C2 A	Eaux Usées	Vers station	Ancienne zone traitement des explosifs	Hors fort central Hors zones U* En zones explosif	Oui	Ciblés+
CANA C2 B	Eaux Usées	Vers station	Laboratoires et locaux administratifs	Hors fort central Hors zones U* Hors zones explosif	Non	Ciblés+
CANA C3	Eaux Pluviales	Vers P1	Partie Nord Ancien secteur de stockage, moulage et usinage des explosifs	Hors fort central Hors zones U* En zones explosif	Oui	Ciblés+
CANA C4 A	Eaux Usées et Eaux pluviales	Vers P2-P9	Eaux de lavage des CT, filtrées avant envoi dans le réseau	Fort central et Hors fort central Connectées aux CT** En zones explosif	Oui	Oui, à définir
CANA C4 B	Eaux Pluviales	Vers P2-P9		Fort central et Hors fort central Non connectées aux CT** En zones explosif	Oui	Ciblés+

*U : Uranium ; **CT : Casemate de Tir ; + Contrôles ciblés sur regards et portions de canalisations ;

++ Contrôles radiologiques exigés par l'ASN à titre de précaution

Dans le cadre des contrôles radiologiques effectués lors du démantèlement des réseaux de canalisations enterrées, il est prévu d'effectuer l'analyse radiologique par spectrométrie des résidus déposés dans les puisards des réseaux, ainsi que - dans le cas de la perte d'étanchéité d'une canalisation présentant une contamination radiologique - celle des terres de remblai la jouxtant

L'orientation de ces résidus de puisards ou de ces terres de remblais vers la filière radiologique de déchets adaptée suppose la détermination préalable du « bruit de fond radiologique » naturel de ces matériaux en matrice solide.

L'objectif de cette note est la description de la méthode retenue pour la détermination du bruit de fond radiologique des résidus et des remblais.

2 HOMOGENEITE SPATIALE DES ACTIVITES MASSIQUES DES TERRES

2.1 Intérêts de l'étude

La détermination du bruit de fond radiologique des résidus de réseaux suppose le choix de prélèvements représentatifs de l'ensemble des terres du site, en ce qui concerne non seulement les réseaux d'eaux pluviales ayant drainé les terres de leur bassin de ruissellement (voir Protocole de suivi radiologique, Annexe 34, PLACOPLATRE), mais aussi les réseaux d'eaux usées dont les puisards peuvent également contenir des résidus issus de la pénétration de terres du site.

En conséquence, une analyse de l'homogénéité spatiale dans les terres du site des activités massiques des deux radionucléides ayant pu faire l'objet d'un apport anthropogénique sur le site : U-238 (dans le cadre des essais de tirs) et Ra-226 (lié à l'utilisation historique de paratonnerres au radium) a été menée (Réf. NTE PLACO 2016/07/00, RP-CONSULT) a été menée.

Cette analyse a été réalisée sur la base des résultats de deux campagnes de mesures déjà effectuées :

- mesures d'activité massique en U-238 et Ra-226 réalisées en 2015 dans trois zones (A4/A8, A6 et A9) du site de Vaujours dans le cadre du diagnostic radiologique des sols de catégorie E sur la base de prélèvements réalisés par NUDEC et de spectrométries gamma effectuées en laboratoire par EICHRON (Réf. Rapport RINGSIF00920-I, NUDEC, 19/10/2015),
- mesures d'activité massique en Th-234 réalisées sur l'ensemble du site de Vaujours dans le cadre d'analyses radiologiques d'échantillons de sols sur la base : de carottages réalisés par ANTEA en vue de contrôles de pollution chimique et de spectrométries gamma effectuées sur site par NUDEC (Réf. Rapport RINGSIF00983-I, NUDEC, 28/06/2016).

2.2 Principaux résultats

L'analyse de l'homogénéité spatiale des activités massiques d'U-238 et Ra-226 dans les terres du site a montré que :

- les activités massiques présentent une importante variabilité spatiale.
- la variabilité des activités massiques en U-238 et Ra-226 à l'intérieur de chaque zone est plus importante que la variabilité d'une zone à l'autre – sauf exception
- la variabilité des activités massiques en U-238 et Ra-226 à l'intérieur de chaque classe de profondeur est plus importante que la variabilité d'une profondeur à l'autre.

En conséquence, et en l'absence d'informations supplémentaires, les activités massiques d'U-238 et Ra-226 (ou leur rapport Ra-226/U-238) des terres situées dans les diverses zones et catégories de profondeur peuvent être considérées d'un point de vue statistique comme un seul et même ensemble de données et il n'y a pas lieu de tenir compte du découpage en zone ou en profondeur dans l'exploitation des données d'activité massique d'U-238 et Ra-226 (ou leur rapport Ra-226/U-238)

2.3 Implications pour la détermination du bruit de fond radiologique des remblais

Dans ces conditions, il apparaît raisonnable d'estimer le bruit de fond radiologique des remblais jouxtant les canalisations de l'ensemble du site de Vaujours à partir de mesures radiologiques portant sur l'ensemble des terres du site

2.4 Implications pour la détermination du bruit de fond radiologique des résidus

Il apparaît également raisonnable d'estimer le bruit de fond radiologique des résidus présents dans les canalisations de l'ensemble du site de Vaujours à partir de mesures radiologiques portant sur l'ensemble des terres du site, en tenant compte toutefois de l'importance à accorder à la granulométrie des prélèvements réalisés du fait que :

- la granulométrie de tels résidus est toujours plus fine que celle des terres en raison des phénomènes de ségrégation granulométrique des terres transportées vers et déposées dans ces réseaux,
- la concentration massique des radioéléments est souvent fortement dépendante de la fraction granulométrique considérée (voir KUMAR 2015)

3 METHODE DE DETERMINATION DU BRUIT DE FOND RADIOLOGIQUE

3.1 Détermination des prélèvements de référence

1.1.1 Résidus

a) Détermination de la granulométrie de référence des résidus

Dix prélèvements de résidus de référence seront effectués dans les puisards de canalisation a priori non marquées par de l'uranium anthropique, appartenant aux réseaux C2A (EU, 5 points de prélèvement) et C3 (EP, 5 points de prélèvement).

Les prélèvements réalisés dans chaque type de réseau seront mélangés et feront ensuite l'objet d'une analyse granulométrique afin de déterminer une granulométrie -type des résidus présents dans les puisards de réseaux d'eaux pluviales et d'eaux usées.

Si la granulométrie-type des résidus des deux types de réseaux est semblable, une granulométrie-type agrégée sera réalisée.

b) Détermination de la distribution de référence des résidus

Dix prélèvements de terres seront réalisés dans la partie la moins active (en moyenne) des terres du site.

Pour chacun de ces prélèvements, une extraction par criblage/tamassage d'une partie du prélèvement sera réalisée afin de constituer deux sous-échantillons de granulométrie semblable à la granulométrie-type des résidus prélevés dans les puisards de chaque type de réseau (ou un seul échantillon de granulométrie semblable à la granulométrie-type agrégée des deux types de réseaux, si pertinent).

Chaque prélèvement de terres effectué donnera donc lieu à l'analyse radiologique d'un sous-échantillon du prélèvement de granulométrie initiale, ainsi qu'à l'analyse radiologique de chaque sous-échantillon de granulométrie-type représentatif de chaque type de réseau (un seul dans le cas d'une granulométrie-type agrégée pour les deux types de réseaux).

1.1.2 Terres de remblai

Les terres de remblai placées autour des canalisations ont été considérées similaires à l'ensemble des terres du site.

Il semble dès lors judicieux d'utiliser comme distribution de référence la distribution des mesures radiologiques déjà effectuées en A4/A8, A6 et A9 pour déterminer le bruit de fond radiologique (en uranium et radium) des terres jouxtant les canalisations, afin d'accroître la précision statistique et d'éviter des mesures supplémentaires inutiles.

3.2 Nature des analyses radiologiques

Les prélèvements réalisés feront l'objet d'analyses radiologiques par spectroscopie gamma confiées à un laboratoire habilité.

Ces analyses viseront en priorité l'estimation de l'activité massique des radionucléides de la chaîne de l'uranium 238 : U-238, Ra-226, Pb-210, Th-232, Pb-212, Bi-212 et Tl-208.

Ces analyses seront de même nature que celles réalisées lors du diagnostic radiologique des sols de catégorie E (Réf. Rapport RNGSIF00920-I, NUDEC) et viseront des limites de détection (LD) respectivement comprises entre 10 et 20 Bq/kg pour l'U-238 et 10 à 50 Bq/kg pour le Ra-226.

3.3 Indicateur de bruit de fond radiologique

Indicateur proposé

L'indicateur proposé pour la caractérisation du bruit de fond radiologique naturel (en U-238 et Ra-226) – pour chaque type de réseau (eaux usées, eaux pluviales) et chaque type de prélèvement (résidus de puisard, terre de remblai) - est l'intervalle supérieur de tolérance (confiance 95%, population 95%), calculé après ajustement sur l'échantillon de prélèvements de la loi statistique convenable

Cet indicateur correspond – pour chaque type de réseau (eaux usées, eaux pluviales) et chaque type de prélèvement (résidus de puisard, terre de remblai) - au niveau d'activité massique supposé dépassé (avec 95% de confiance) par seulement 5% de la population de prélèvements correspondante.

Exemple de détermination

De tels indicateurs ont été déterminés à titre d'exemple – pour l'U-238 et le Ra-226 - dans le cadre de l'analyse exploratoire des mesures de diagnostic radiologique des sols de catégorie E (voir NTE PLACO 2016/07/00, RP-CONSULT), à l'aide du logiciel STATGRAPHICS.

Les deux figures suivantes présentent respectivement – pour l'U-238 et le Ra-226 - l'ajustement de la loi Lognormale sur la distribution des activités massiques (Bq/kg), ainsi que la valeur de l'intervalle supérieur de tolérance à 95% pour 95% de la population ¹.

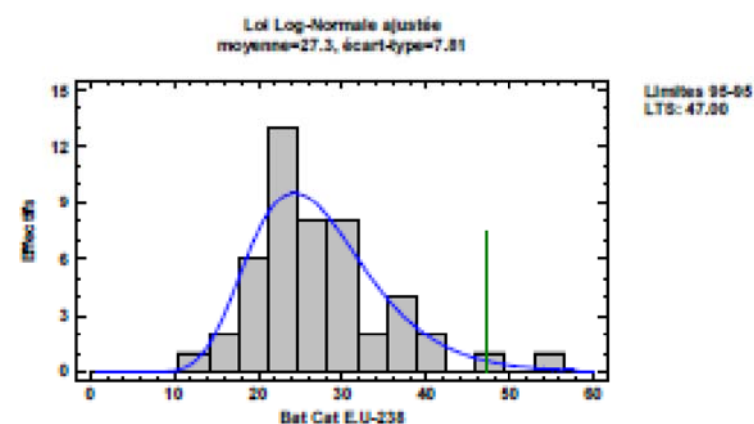


Figure 1 : Ajustement de loi LogNormale et estimation de l'intervalle supérieur de tolérance (95%, 95%) pour la distribution des mesures d'U-238 (terres catégorie E, Bq/kg)

FIN

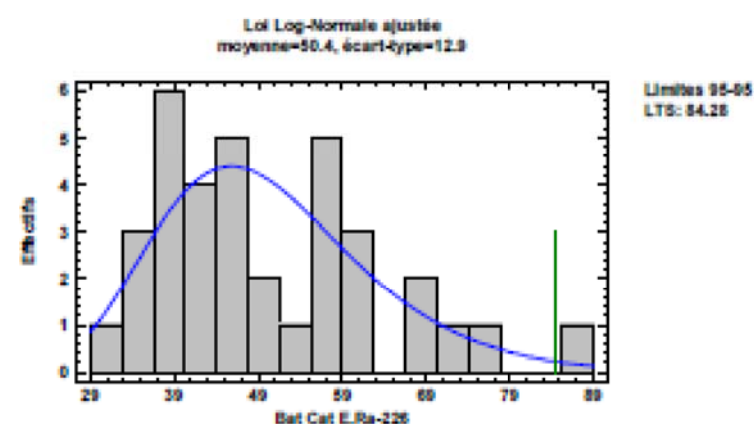


Figure 2 : Ajustement de loi LogNormale et estimation de l'intervalle supérieur de tolérance (95%, 95%) pour la distribution des mesures de Ra-226 (terres catégorie E, Bq/kg)

Dans cet exemple, les valeurs des intervalles supérieurs de tolérance à 95% pour 95% de la population (Loi LogNormale) sont égales respectivement à :

- 47 Bq/kg pour l'U-238
- 84 Bq/kg pour le Ra-226

Utilisation possible de tels indicateurs

Une utilisation possible de tels indicateurs serait de :

- considérer comme appartenant au bruit de fond radiologique des prélèvements inférieurs à l'intervalle supérieur de tolérance,
- déclencher des analyses complémentaires pour les échantillons supérieurs à l'intervalle supérieur de tolérance.



Siège social

40, rue Moreau Duchesne
77910 Varreddes

 01 64 33 18 29



Bureau de Coulommiers

87, Avenue Jehan de Brie
77120 Coulommiers

 01 64 03 02 05



Bureau de La Ferté-sous-Jouarre

64, rue Pierre Marx
77260 La Ferté-sous-Jouarre

 01 60 22 02 38



Bureau de Crépy-en-Valois

2, bis rue Louis Armand
60800 Crépy-en-Valois

 03 44 59 10 81

environnement@cabinet-greuzat.com
<http://www.cabinet-greuzat.com>

