

Février
2023

SAS CREMAPOITIERS

Dossier d'Autorisation Environnementale pour l'implantation d'un crématorium pour animaux à POITIERS (86)



COMPLEMENTS DE SEPTEMBRE 2022

AREA Conseil
317, rue des Canadiens
76520 Franqueville-Saint-Pierre

Tél. : 02 35 80 09 08
Fax : 02 35 80 09 28

E-mail : area-conseil@orange.fr



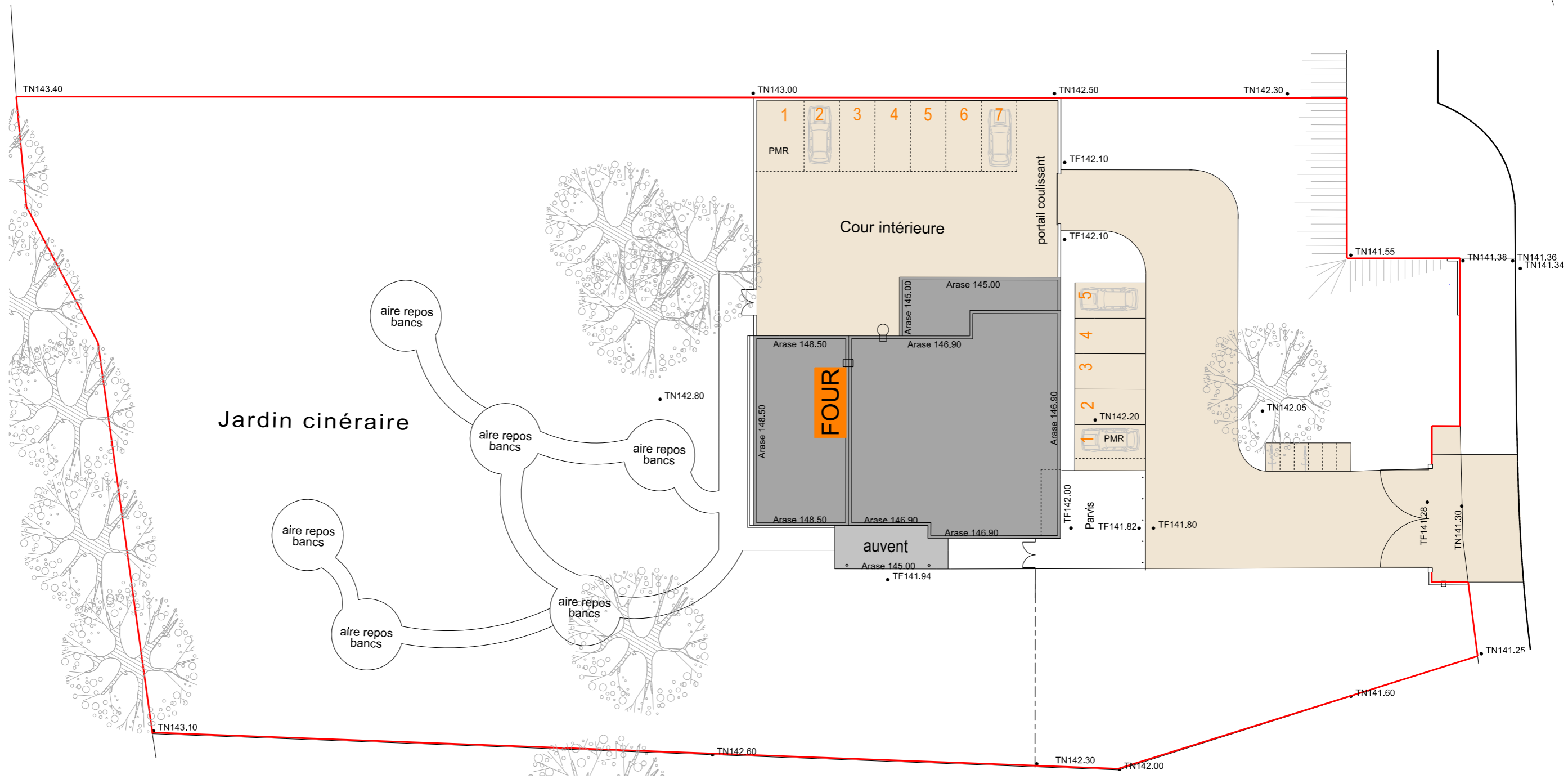
Madame Francine LOME-GIMENEZ
Ingénieur écologue

Mademoiselle Mylène DAGNICOURT
Chargée d'études en environnement



Document n° 1 : Plan masse de CREMAPOITIERS

PLAN DE MASSE ETAT PROJETÉ



LEGENDE

— Limite de propriété

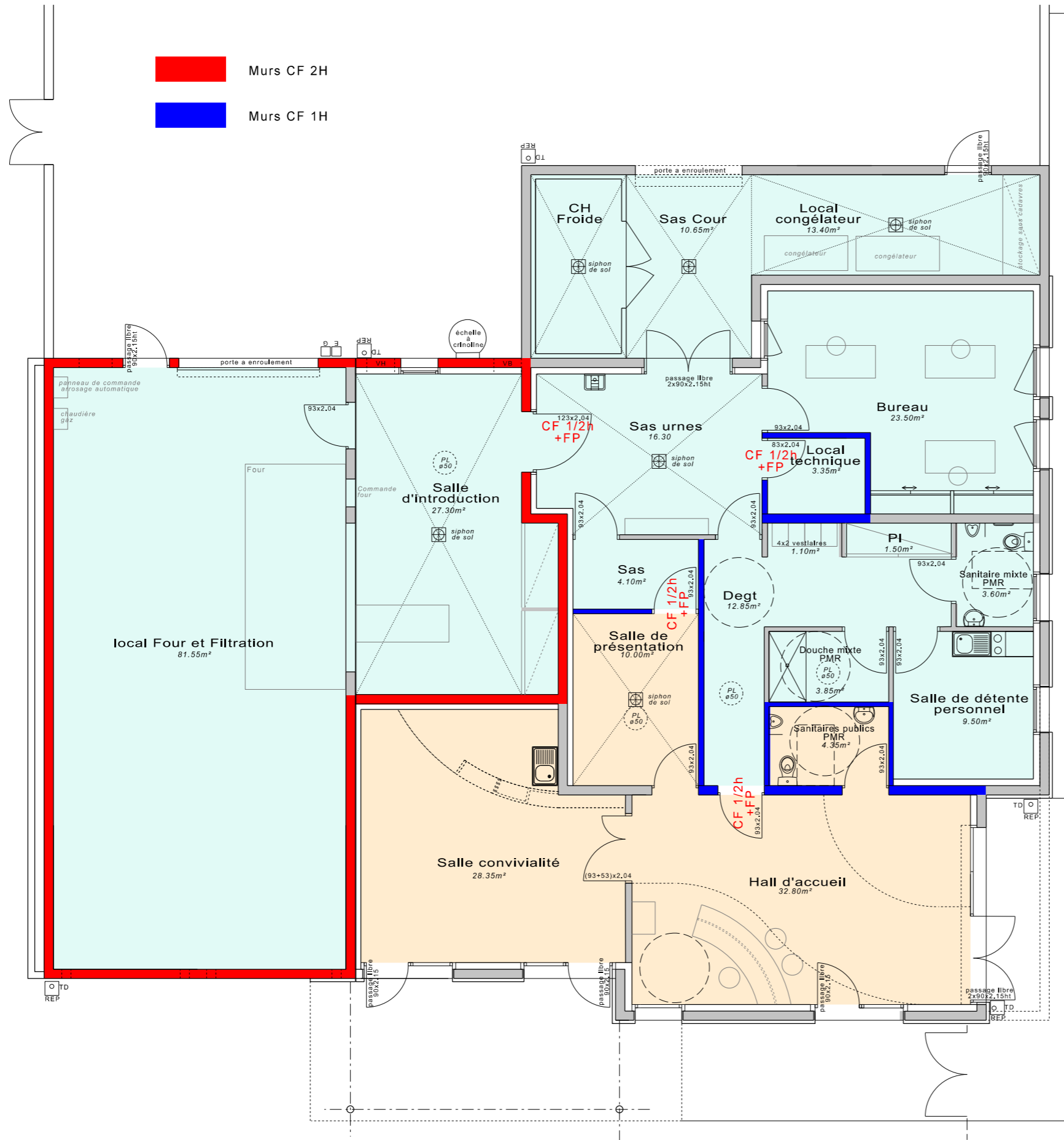
Nota: LES COTES SONT DONNEES A TITRE INDICATIF


| | | | | |
|---|--|------------------------------------|------------------------|--------------------|
| Maitre d'ouvrage Cyril Lecuit SAS CHAUMONT | Rue du Viaduc de Garabit 86000 POITIERS | Crématorium Animalier et cimetière | | |
| | | Echelle : 1/300 | Date septembre 2022 | N° Ordre Indice |
| CM Atelier Architecture | PLAN DE MASSE ETAT PROJETÉ IMPLANTATION | | | |

Document n° 2 : Plan du RDC de CREMAPOITIERS



Murs CF 2H
 Murs CF 1H



| | | | | | |
|---|--|------------------------------------|----------------------|----------|--------|
| Maître d'ouvrage Cyril Lecuit CHAUMONT | 86000 POITIERS Rue du Viaduc de Garabit | Crématorium Animalier et cimetière | | | |
| | | Echelle : 1/100 | Date 30 aout 2022 | N° Ordre | Indice |
|  | RDC CREMAPOITIERS | | | | |

Document n° 3 : Descriptif du four de crémation animale
type FT 110 4D



Equipements de Crémation et d'Incinération



PROJET :

Crématorium animalier / CREMAPOITIERS
FT 110 4D

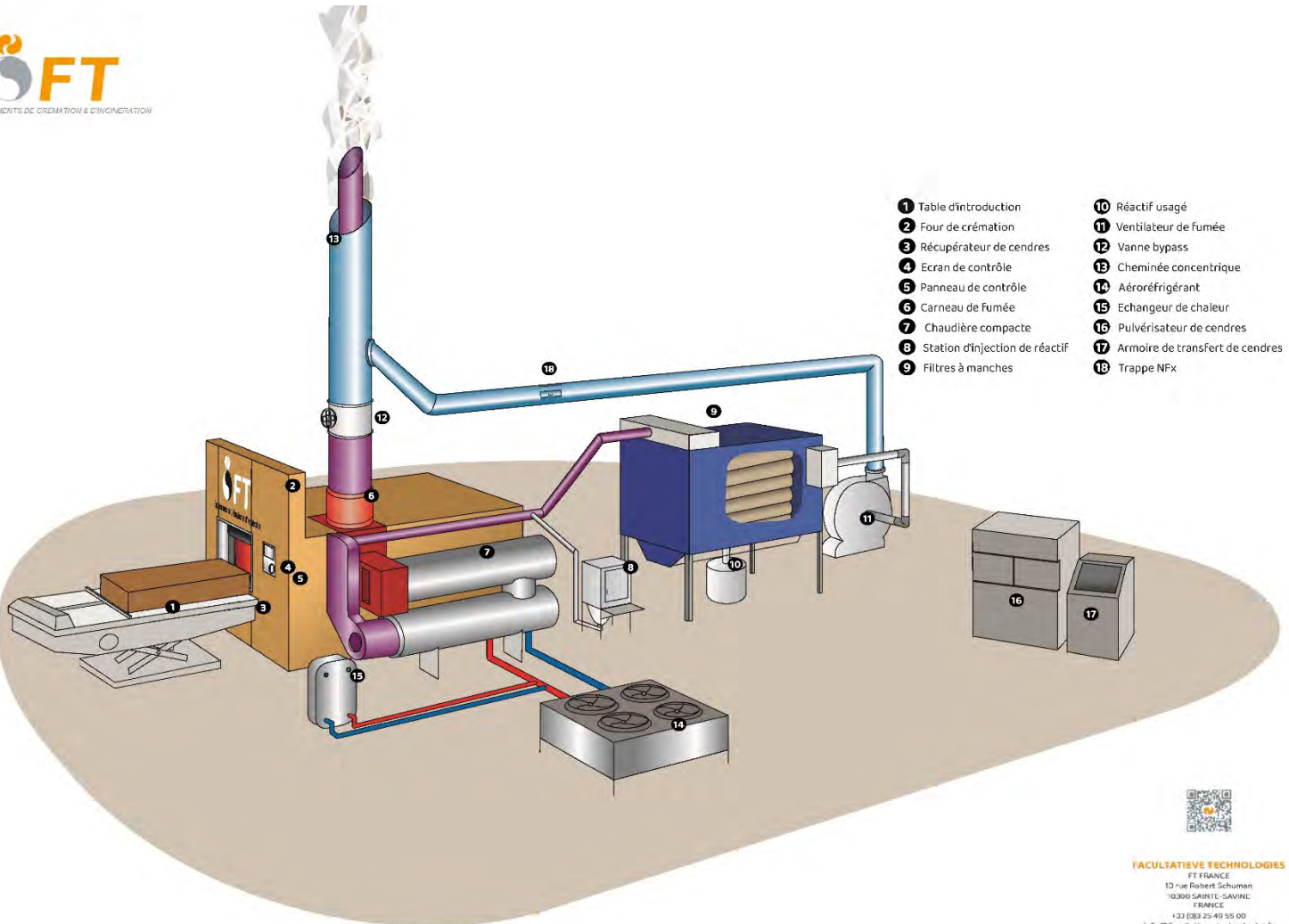
OFFRE DE PRIX DU 20 JUILLET 2022

Nous vous remercions pour l'intérêt porté à notre société.
Veuillez trouver ci-dessous notre proposition commerciale ainsi que les nécessités techniques.

Restant à votre disposition.

Mathieu DIETRICH
Directeur Crémation France

1. Synoptique d'une installation type :



FACULTATIVE TECHNOLOGIES
 FT FRANCE
 10 rue Robert Schuman
 10300 SAINT-SAVIN
 FRANCE
 +33 (0)3 25 49 55 00
 info@facultative-technologies.fr

Technologies & développement durable:

Four de crémation pyrolytique de dernière génération

Leader des équipements de crémation et de filtration, FT a assis sa notoriété technologique par un niveau important d'investissements en recherche et développement depuis de très longues années. L'avance technologique de FT est présente dans les domaines de l'optimisation de la combustion, des économies d'énergies, des temps de crémation, des performances environnementales, de son support client en ligne, de son télédiagnostic et de son dispositif de supervision in situ ou à distance. Le four pyrolytique FT 110 4D est entièrement automatisé et doté d'une gestion optimisée de la combustion.

2. Matériel proposé :

| Désignation | Quantité | Prix Unitaire en € | Prix total en € |
|--|----------|--------------------|-----------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Four pyrolytique FT 110 4 portes, d'une capacité initiale de 110 kg/h : <ul style="list-style-type: none"> ✓ 4 portes d'introductions ✓ Réfractaires haute qualité ✓ 6 brûleurs de 1400 Kw. ✓ Chambre de post-combustion ✓ Technologie HMI avec gestion et service à distance. | 1 | 334 300,00 | 334 300,00 |
| <ul style="list-style-type: none"> • Dispositif d'introduction automatique pour animaux, à déplacement latéral, avec plateau mobile. Crémation digne et sécuritaire pour l'opérateur.  | 1 | 33 400,00 | 33 400,00 |
| <ul style="list-style-type: none"> • Dispositif de traitement et de filtration simple, (non obligatoire) équipé de : <ul style="list-style-type: none"> ✓ Un refroidisseur compact ✓ D'un aéro-refroidisseur (en extérieur) ✓ D'une station d'injection de réactif ✓ D'un filtre à manches (60) ✓ D'un dispositif d'extraction des gaz ✓ D'une cheminée ✓ D'un dispositif de récupération des filtrats ✓ D'un dispositif de supervision (hors câblage dans local opérateur)  | 1 | 407 500,00 | 407 500,00 |

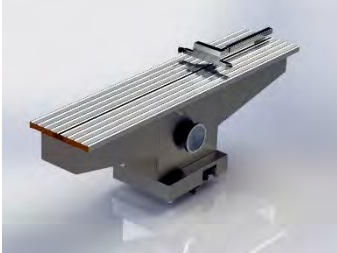
| | | | |
|---|---|--------|-------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Prestations et fournitures comprenant : <ul style="list-style-type: none"> ✓ Etude, livraison, montage, mise en route, ✓ Formation du personnel sur site, ✓ Garantie 1 ans pièces et main d'œuvre, ✓ Maintenance en garantie totale 1 ans (hors réactif) ✓ Réactif (6 seaux) + 2 fûts vides. ✓ Eléments de sécurité et petits outillages : (Bouclier thermique, ringard, pince, brosse, aimant) | 1 | Inclus | Inclus |
| TOTAL FOUR + FILTRATION En € HT | | | 775 200,00 |

Equipements annexes (si commandé en même temps que les équipements ci-dessus)

| | | | |
|--|---|-----------|------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Dispositif de préparation des cendres avec : <ul style="list-style-type: none"> ✓ Pulvérisateur ultra-rapide (HSC), ✓ Cabinet de transfert des cendres (TC). | 1 | 30 780,00 | 30 780,00 |
| TOTAL EQUIPEMENTS En € HT | | | 30 780,00 |



| | | | |
|--|---|------------|-------------------|
| Total Four + Filtration + Equipements | 1 | 805 980,00 | 805 980,00 |
| MONTANT TOTAL En € HT | | | 805 980,00 |

| | | | |
|--|---|---------------|---------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Options : ✓ Table d'introduction à hauteur fixe et plateau fixe.  | 1 | 17 610,00 €HT | 17 610,00 €HT |
|--|---|---------------|---------------|



Poids des équipements :

- ✓ Four : 21 000 kg
- ✓ Chaudière compacte : 4 500 kg
- ✓ Filtre simple : 3 250 kg
- ✓ Aero-refroidisseur : 1 324 kg

Dimensions des équipements :

- ✓ Four : Long. :4850, larg. : 2160, Haut. : 4200
- ✓ Filtre simple (selon version): Long. : 3565, larg. : 850, Haut. : 3000
- ✓ Aero-refroidisseur : 2400 x 3600 (6 ventilateurs)

Limites de fournitures :

- **Raccordements électriques à la charge de l'Acheteur :**

- ✓ Armoire four : 380 V – 50 Hz – 3 phases + T + N
Prévoir disjoncteur 63 A courbe D
Puissance installée 16 kVA

- ✓ Armoire filtre simple / double : 380 V – 50 Hz – 3 phases + T + N
Prévoir disjoncteur 100 A courbe D
Puissance installée 34 / 46 kVA
- ✓ Pulvérisateur ultra-rapide : Boîte de dérivation pour branchement fixe
220 V mono – 16 A – Protection 300 mA
- **Raccordements gaz à la charge de l'Acheteur :**
 - ✓ Par four : gaz naturel 300 mbar stabilisé
Puissance maxi 1400 kW
- **Réseaux :**
 - ✓ Télémaintenance : Internet haut débit.
Raccordement armoire filtration à la charge de l'Acheteur.
 - ✓ Supervision : Liaison et raccordement Ethernet entre armoire électrique
filtration et ordinateur de supervision.
 - ✓ Récupération de chaleur : FT fournit l'échangeur.
Raccordement circuit de chauffage à la charge de l'Acheteur.
- **Demeure également à la charge de l'acheteur :**
 - ✓ Analyses des rejets atmosphériques par un organisme agréé.
 - ✓ Evacuation des déchets de filtration par une entreprise spécialisée.
 - ✓ Le système de ventilation des locaux techniques selon les besoins.

3. Garantie équipements :

L'ensemble de l'installation est garanti "pièces, main d'œuvre et frais de déplacement" pendant deux ans à compter de la première crémation en conformité avec les normes de rejets.

De plus, le Fournisseur s'engage pendant la durée de la garantie de **1 ANS** à fournir cinq prestations :

- une assistance complète dans le suivi et l'analyse des rejets atmosphériques ;
- une analyse périodique de l'état des réfractaires pour optimiser la longévité de ces derniers ;
- la mise à disposition pendant deux ans d'un stock de pièces détachées sur le site même du crématorium ;
- un entretien et une maintenance de l'installation pendant deux années complètes. Il est précisé que chaque visite sur site doit notamment permettre de contrôler tous les organes de l'appareil de crémation et de la ligne de filtration et consiste notamment à nettoyer les circuits de fumées, régler les brûleurs après nettoyage, remplacer préventivement les thermocouples et remplacer les pièces usagées, étalonner les capteurs de dépression et d'oxygène, compléter la formation du personnel, redémarrer l'appareil de crémation et la ligne de filtration et assister aux premières crémations.
- les dépannages curatifs le cas échéant.
- Hors fourniture et retraitement du produit réactif.

4. Conditions standards de livraison et de mise en route :

- Délai de livraison sur site : 22 semaines à compter de la réception de l'acompte.
- Délai de mise en route sur site : 10 à 12 semaines à compter de la date de livraison.

5. Conditions de paiement :

- Acompte à la commande : 30 %
- Acompte à la livraison : 35 %
- Acompte à la mise en route : 35 %

En complément :



Contrats de service :

Afin de garantir une sérénité d'exploitation, nous vous proposons sur demande, plusieurs types de contrats de service.

| | IVORY | SILVER | GOLD | PREMIUM |
|-----------------------|-------|--------|--------|-------------|
| Durée minimum | 1 an | 5 ans | 10 ans | 10 ans |
| Maintenance* | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Service Hotline* | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Dépannages* | | ✓ | ✓ | ✓ |
| Fumisterie partielle* | | | ✓ | ✓ |
| Fumisterie totale* | | | | ✓ |
| Réactif FACTIVATE* | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Traitement réactif* | | | | ✓ |
| Consommables* | | | | ✓ |
| GER* | | | | Sur demande |

* Lexique :

Maintenance : Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien.

Service Hotline : Télé-dépannage à distance avec un technicien FT France, permet de dépanner ou d'assister l'opérateur pour des crémations spécifiques (corps lourds).

Dépannages : Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.

Fumisterie partielle : Comprend mur mitoyen, sole, support de sole, dalles de chambre PC.

Fumisterie totale : Comprend l'ensemble des éléments réfractaires.

Réactif FACTIVATE : Produit réactif pour la filtration (600g/crémation) hors préchauffage.

Traitement réactif : Nous nous chargeons de la collecte et du retraitement du réactif usagé.

Consommables : Tous les produits et pièces d'entretien nécessaires aux dépannages et à la maintenance préventive.

GER : Gros Entretien Renouvellement, remplacement de biens obsolètes ou en limite d'usure.

Document n° 4 : Evaluation des effets de surpression en cas
d'explosion d'un four **Projet de crématorium animalier / Site**
de Poitiers (86) - CNPP - Septembre 2022



GROUPE CNPP
Département Feu et Environnement
Route de la Chapelle Réanville
CD 64 - CS 22265
F 27950 SAINT MARCEL
Tél. 33 (0)2 32 53 64 33
Fax 33 (0)2 32 53 64 68

Prévention et maîtrise des risques

RAPPORT D'ETUDE N° CR 21 12998-1
Additif n°1 au rapport CR 21 12998 en date du 21 février 2022

**Evaluation des effets de surpression en cas d'explosion d'un four
Projet de crématorium animalier**

Site de Poitiers

DATE : 23 septembre 2022

CLIENT :
AREA CONSEIL
317 Rue des Canadiens
76520 FRANQUEVILLE SAINT PIERRE

RESPONSABLE CLIENT :
Francine LOME- GIMENEZ
☎ 02 35 80 09 08
✉ area-conseil@orange.fr

Le présent rapport comporte : 16 pages dont 6 pages d'Annexes.

Ce rapport ne peut être reproduit ou publié que dans sa forme intégrale. Le CNPP décline toute responsabilité en cas de reproduction ou de publication non conforme. Le CNPP se réserve le droit d'utiliser les enseignements qui résultent du présent document pour les inclure dans des travaux de synthèse ou d'intérêt général pouvant être publiés par ses soins.

www.cnpp.com

CNPP Entreprise SARL au capital de 8 500 000 € • SIRET 34290125300050 - N° TVA FR 50342901253 - Code NAF 8559A • RC Évreux 1987B00299
Siège Social : CS 22265 - F 27950 SAINT-MARCEL • N° formateur 23270036727



SOMMAIRE

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | CONTEXTE DE L'ETUDE..... | 3 |
| 2 | PHD1 : EFFETS DE SURPRESSION GENERES EN CAS D'EXPLOSION DU NOUVEAU FOUR | 5 |
| 2.1 | DONNEES D'ENTREE..... | 5 |
| 2.2 | HYPOTHESES DE MODELISATION | 7 |
| 2.3 | EFFETS DE SURPRESSION D'EXPLOSION..... | 8 |
| 2.4 | PHD1 – SYNTHESE | 9 |
| 3 | BIBLIOGRAPHIE | 10 |
| 4 | ANNEXES | 11 |
| 4.1 | ANNEXE 1 : GENERALITES SUR LES METHODES DE CALCUL..... | 11 |

1 CONTEXTE DE L'ETUDE

La présente étude concerne le projet d'exploitation d'un crématorium animalier localisé sur la commune de Poitiers dans le département de la Vienne (86).

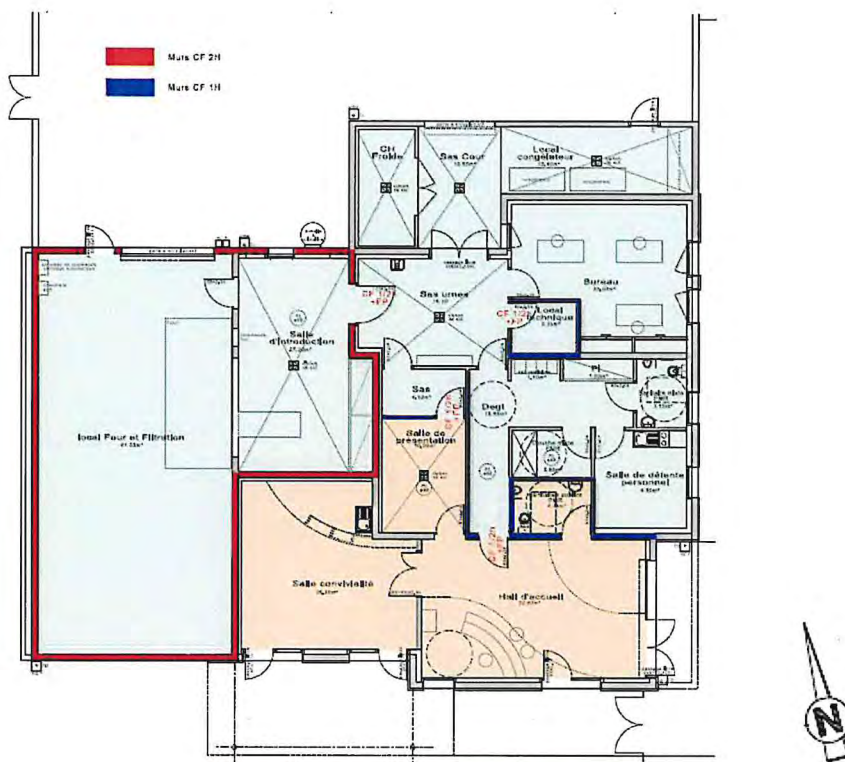


Figure 1 : vue sur le crématorium animalier

Le crématorium disposera d'un nouveau four. CNPP est intervenu pour dimensionner l'intensité des effets de surpression générés par l'explosion de l'ancien four (rapport référencé CR 21 12998-1 du 21 février 2022).

Il apparaît aujourd'hui nécessaire de mettre à jour l'étude de dimensionnement réalisée vis-à-vis de l'évolution du four.

Dans ce cadre, une étude des effets de surpression en cas d'explosion relative aux risques présentés par le fonctionnement d'un four doit être menée.

Cette étude traite le phénomène dangereux suivant :

- ✓ **PhD1** : effets de surpression générés en cas d'explosion du nouveau four.

La sélection du scénario et le recueil des données ont été réalisés par le client.



Une méthodologie propre au CNPP a été utilisée pour calculer les effets de surpression en cas d'explosion du four.

2 PHD1 : EFFETS DE SURPRESSION GENERES EN CAS D'EXPLOSION DU NOUVEAU FOUR

2.1 Données d'entrée¹

2.1.1 Implantation

La Figure 2 localise le nouveau four de crémation dans son environnement.

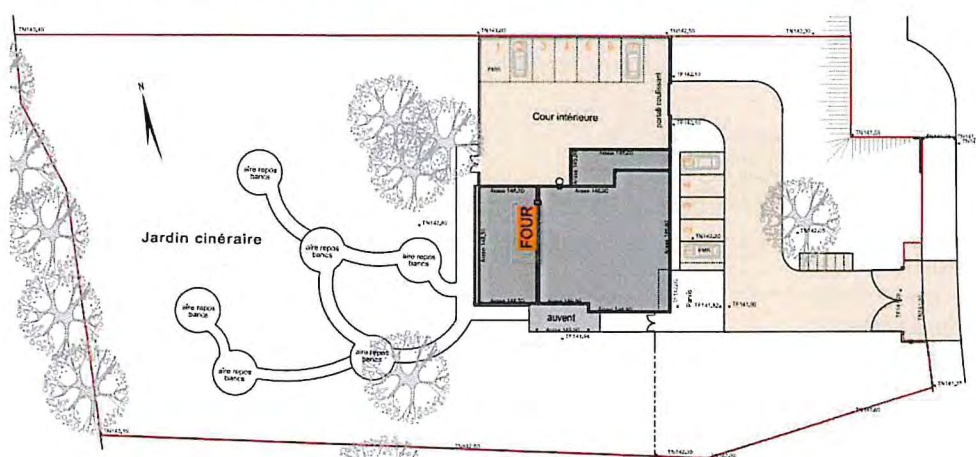


Figure 2 : vue sur nouveau four de crémation dans son environnement

2.1.2 Dimensions du four

Les dimensions du four de crémation animalier sont récapitulées dans le Tableau 1.

| Installation considérée | Chambre de combustion | Volume des chambres de combustion |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| Four | Chambre primaire | 0,93 m ³ |
| | | 0,41 m ³ |
| | | 0,23 m ³ |
| | | 0,23 m ³ |
| | Chambre secondaire | 5,7 m ³ |

Tableau 1 : dimensions du four de crémation animalier

La chambre primaire est une chambre cloisonnée à mi-hauteur, divisée en 4 zones. La chambre secondaire est une chambre de post-combustion.

2.1.3 Dispositions constructives

Le Tableau 2 détaille les dispositions constructives du four de crémation animalier.

¹ Données exploitant

| Installation considérée | Carcasse |
|-------------------------|---|
| Four | Tôle en acier de forte épaisseur 4 portes d'introduction |

Tableau 2 : description détaillée des dispositions constructives du four de crémation animalier

2.1.4 Caractéristiques des stockages

Les caractéristiques du produit susceptible d'être présent dans le four sont détaillées dans le Tableau 3.

| Caractéristiques d'explosivité | Valeur |
|-------------------------------------|------------------------|
| Limite inférieure d'explosivité LIE | 5% |
| Limite supérieure d'explosivité LSE | 15% |
| Température d'auto-inflammation | 540 °C |
| Energie minimale d'inflammation | 300 µJ |
| Masse volumique | 0,68 kg/m ³ |

| Installation considérée | Nature de produits stockés |
|-------------------------|----------------------------|
| Four | Gaz naturel |

Tableau 3 : caractéristiques des produits susceptibles d'être présents dans le four de crémation animalier

2.1.5 Environnement

Les distances entre le four et les limites de propriété les plus proches sont récapitulées dans le Tableau 4.

| Direction considérée | Distance entre le four et les limites de propriété les plus proches | Remarques |
|----------------------|---|-----------|
| Nord | 18,90 m | - |
| Est | 42,25 m | - |
| Sud | 23 m | - |
| Ouest | 60 m | - |

Tableau 4 : distances d'isolement du four vis-à-vis des limites de propriété

Les limites de propriété sont matérialisées en rouge sur la Figure 3.

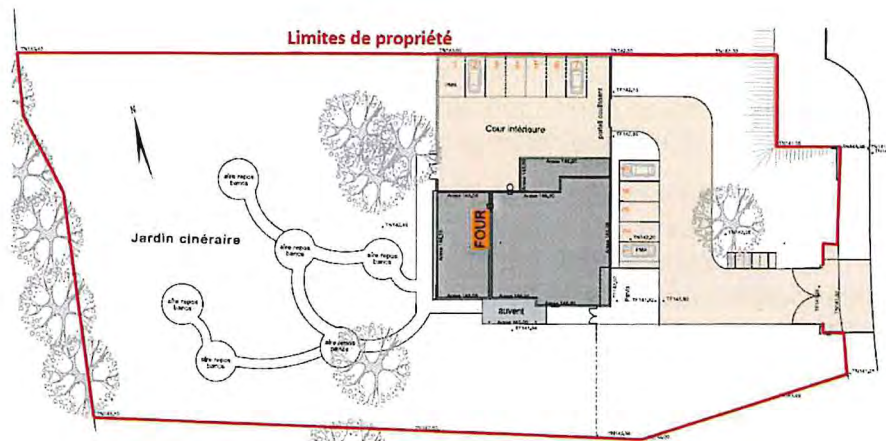


Figure 3 : vue sur la localisation des limites de propriété du site

2.2 Hypothèses de modélisation

2.2.1 Scénario retenu

Le scénario retenu correspond à une explosion de gaz consécutive à une fuite accidentelle au sein d'une chambre de combustion du four de crémation. On considère que le gaz est dilué dans l'ensemble du volume libre de la plus grande chambre de combustion ($5,7 m^3$), ce qui constitue une hypothèse pénalisante.

Le scénario d'ignition d'un nuage de gaz naturel peut correspondre à une décharge électrique ou électrostatique, au contact avec une source chaude ou une flamme nue.

2.2.2 Dimensionnement du terme source

La méthode de dimensionnement du terme source de l'explosion est la méthode multi-energy.

La détermination de l'énergie de l'explosion de gaz s'effectue à partir de l'équation de Brode :

$$E = \frac{(P_{ex} - P_a)V_g}{\gamma_g - 1}$$

Avec :

| | | |
|----------------|---|---|
| E | : | Energie d'explosion (J) |
| V_g | : | Volume de l'enceinte considérée (m^3) |
| $P_{ex} - P_a$ | : | Pression relative de l'explosion ou surpression maximale dans le nuage (Pa) |
| P_{ex} | : | Pression absolue de l'explosion (Pa) |
| γ_g | : | Rapport des chaleurs spécifiques du gaz du nuage |

On a généralement $E = 3.(P_{ex} - P_a).V_g$

Dans une approche dimensionnante, on retient comme pression relative de l'explosion, 2 fois la pression correspondant à la résistance de l'enveloppe en statique (Prupture) dans le cas d'une explosion primaire.

Les parois du four sont constituées de tôle d'acier de forte épaisseur. La surpression de ruine en statique des structures en acier varie de 250 à 1000 mbar (ordre de grandeurs de la résistance des matériaux issu de la compilation de différentes informations reportées dans plusieurs références (Lannoy, 1984, Clancy, 1972, INRS, 1994, BIT, 1993)).

Dans le cadre d'hypothèses pénalisantes, on retient une pression statique de rupture de l'enveloppe de 1000 mbar pour ce type de structure soit une pression dynamique de rupture de 2 bar. Les effets de surpression sont dimensionnés en considérant que les murs du four sont détruits par le souffle de l'explosion et que l'ensemble du volume est porté à 2 bar, sans prendre en compte la possibilité que les portes (éléments les plus fragiles avec la présence de joints) puissent céder en premier limitant ainsi la surpression maximale d'explosion au sein même de l'enceinte.

Sur la base d'une surpression maximale dans le nuage de 2 bar, l'énergie d'explosion E calculée par la formule de Brode est de l'ordre de 3,42 MJ.

2.3 Effets de surpression d'explosion

2.3.1 Tableau de résultats des effets de surpression

Dans le cas présent, la détermination des distances d'effets de surpression en cas d'explosion du four de crémation s'effectue en retenant un indice de 10 pour l'abaque multi-energy :

| Valeurs de référence relatives aux seuils d'effets de surpression | Distances d'effet (m) | |
|---|---|---|
| | Suivant la méthode multi-energy indice 10 | Surpression max. de 2 bar dans le nuage |
| 300 mbar | $0,028 E^{1/3}$ | 5 m |
| 200 mbar | $0,032 E^{1/3}$ | 6 m |
| 140 mbar | $0,05 E^{1/3}$ | 10 m |
| 50 mbar | $0,11 E^{1/3}$ | 15 m |
| 20 mbar | (*) | 30 m |

(*) Forfaitairement, il est admis dans l'arrêté du 29 septembre 2005 que la distance des 20 mbar est le double de la distance des 50 mbar.

2.3.2 Tracé des effets de surpression

Les effets de surpression sont tracés depuis le centre du four, lieu de positionnement supposé de la chambre de combustion.

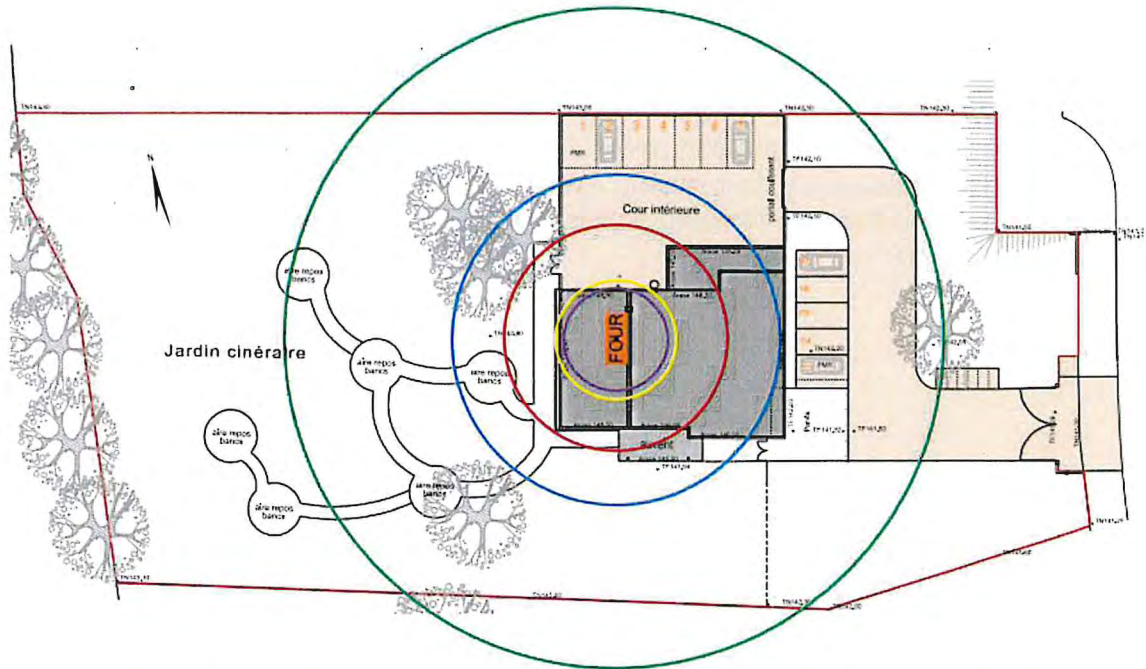


Figure 4 : PhD1 - effets de surpression générés par une explosion de gaz au sein d'une chambre de combustion du nouveau four de crémation animalier

Tracé sur plan des zones d'effets à 300 mbar (violet), 200 mbar (jaune), 140 mbar (rouge), 50 mbar (bleu), 20 mbar (vert)

2.4 PhD1 – Synthèse

Pour ce scénario d'explosion de gaz au sein d'une chambre de combustion du nouveau four de crémation :

- ✓ Les zones d'effet de surpression réglementaires à 300, 200, 140 et 50 mbar sont maintenues à l'intérieur des limites de propriété ;
- ✓ Seule la zone d'effet de surpression à 20 mbar (pour rappel ce seuil de surpression correspond pour les structures au seuil de destructions de vitres significatives et au seuil des effets irréversibles pour l'homme correspondant à la zone des effets indirects par bris de vitre) sort du site au Nord (sur une distance inférieure à 11 m) et au Sud (sur une distance inférieure à 7 m) ;
- ✓ Les explosions des chambres de combustion seraient successives et non simultanées.

EB

3 BIBLIOGRAPHIE

- [1] INERIS, «Guide des méthodes d'évaluation des effets d'une explosion de gaz à l'air libre,» 1999.
- [2] MEEM, «Arrêté du 29/09/2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les EDD des installations soumises à autorisation».

4 ANNEXES

4.1 Annexe 1 : généralités sur les méthodes de calcul

4.1.1 Modélisation de l'explosion d'un nuage de gaz inflammable

4.1.1.1 Conditions d'ignition et mécanisme de l'explosion

Si un mélange de vapeurs inflammables et d'air est compris dans les limites d'inflammabilité, on ne peut exclure l'inflammation du nuage au contact d'une source d'ignition (flamme nue, décharge d'électricité statique, explosion primaire, etc.). Les limites d'inflammabilités des gaz sont caractérisées par :

- ✓ La LII : concentration limite inférieure d'inflammabilité ;
- ✓ Et la LSI : concentration limite supérieure d'inflammabilité.

Elles s'expriment en pourcentage volumique de vapeur dans l'air.

En cas d'inflammation d'un nuage de gaz, on peut observer des phénomènes différents :

- ✓ En champ libre non obstrué, une combustion rapide du mélange inflammable formant alors une boule de feu, sans que les effets de pression soient prépondérants sur les effets thermiques ;
- ✓ En champ obstrué ou en milieu confiné, l'explosion du mélange inflammable avec des effets de surpression conséquent.

Deux types d'explosion sont envisageables :

- ✓ La combustion des vapeurs inflammables s'effectue à une vitesse inférieure à la vitesse du son. Le régime est alors subsonique et on assiste à une déflagration, c'est le scénario le plus fréquent. Dans ce cas les surpressions engendrées bien qu'importantes ne sont pas dramatiques au-delà de quelques dizaines (centaines tout au plus) de mètres ;
- ✓ La combustion du nuage entraîne une accélération de la vitesse du front de flamme jusqu'à un régime supersonique. On est alors en régime de détonation et les surpressions deviennent alors particulièrement destructrices. Ce régime d'explosion n'est généralement pas atteint pour les explosions accidentelles de gaz (sauf parfois dans des conduites très longues où le front de flamme de combustion peut s'accélérer jusqu'au régime de détonation).

La propagation du front de flamme à travers le mélange combustible agit comme un piston sur l'air environnant, et entraîne mécaniquement la formation d'ondes de surpression. Ainsi, l'importance des surpressions est directement dépendante de la vitesse de propagation du front de flamme.

D'une manière générale, la violence d'explosion dépend de la concentration du produit, de sa réactivité, de la puissance de la source d'inflammation, du confinement, de l'encombrement, de la turbulence au sein de l'atmosphère explosive et de la géométrie de la zone concernée. On retiendra que pour limiter les effets d'explosion,

il est préférable que les sites soient clairs et bien dégagés, ou que les milieux confinés comprennent des surfaces d'évent importantes.

4.1.1.2 Méthode de dimensionnement

Différents régimes d'explosion sont envisageables, de la déflagration à la détonation. Le régime d'explosion et la violence des effets associés sont directement liés à la puissance de l'ignition, au degré de confinement et d'encombrement dans la chaufferie.

Le régime de détonation, potentiellement le plus destructeur, n'est quasiment jamais observé dans les accidents industriels (sauf si l'explosion est initiée par une explosion primaire du type explosif condensé). L'explosion d'un nuage de gaz combustible donne généralement lieu à une déflagration dont la violence reste à apprécier.

La méthode multi-energy, développée initialement par le TNO (Pays-Bas) permet d'apprécier le niveau de surpression maximale atteinte dans un nuage de gaz combustible. La violence d'explosion est caractérisée par 10 indices qui correspondent à des niveaux de surpression maximum dans le nuage. Cette méthode est très largement utilisée et reconnue pour ce type de dimensionnement.

| Indice multi-energy | Surpression maximale correspondante (mbar) | Régime d'explosion |
|---------------------|--|---------------------|
| 1 | 10 | Déflagration faible |
| 2 | 20 | Déflagration |
| 3 | 50 | Déflagration |
| 4 | 100 | Déflagration |
| 5 | 200 | Déflagration |
| 6 | 500 | Déflagration |
| 7 | 1000 | Déflagration |
| 8 | 2000 | Déflagration |
| 9 | 5000 | Déflagration forte |
| 10 | 20000 | Détonation |

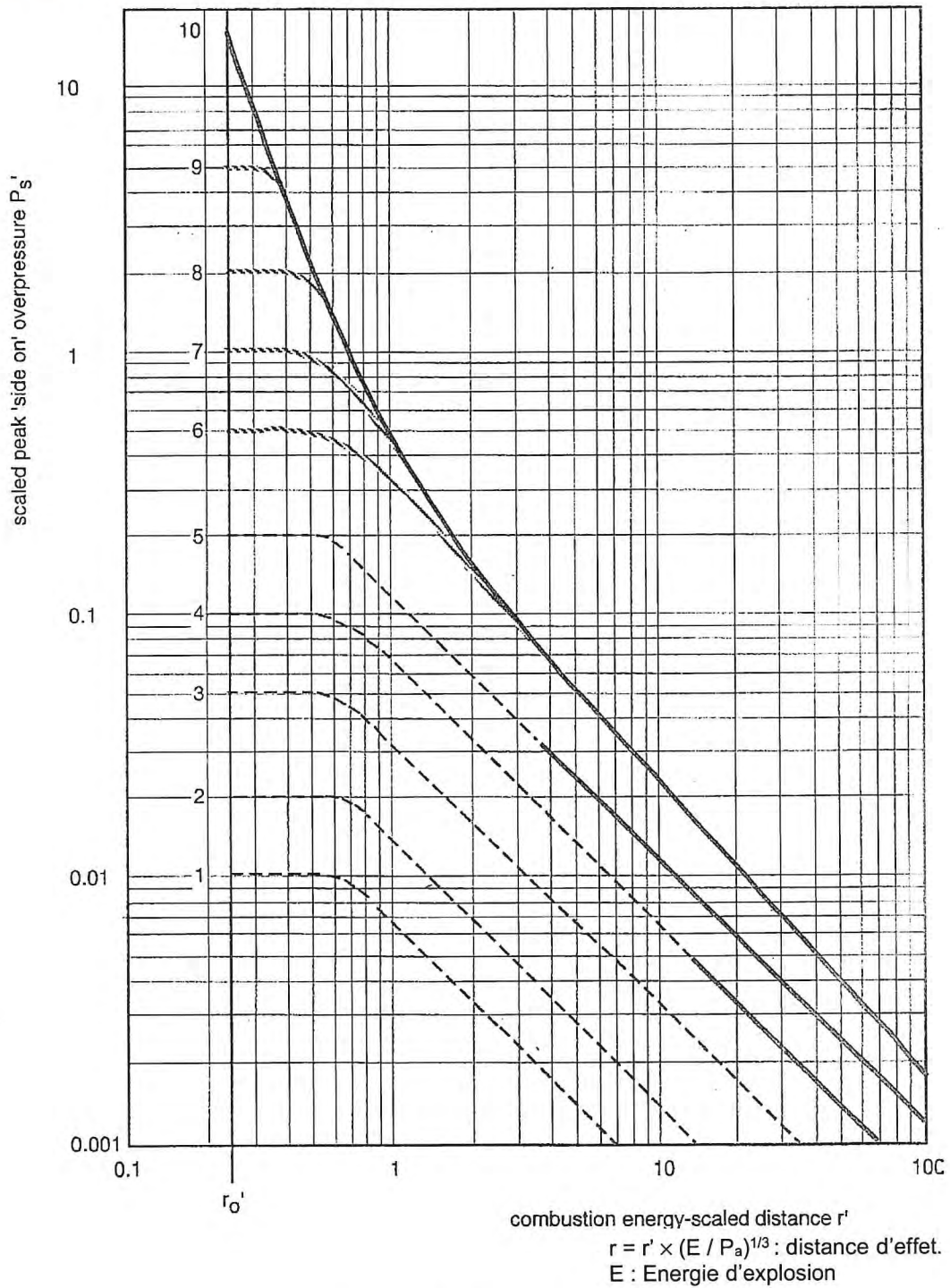
Dans le guide relatif aux effets d'explosion [1], l'INERIS propose la méthode de KINSELLA pour choisir l'indice de violence d'explosion. Cette méthode est illustrée par le tableau suivant.

Dans ce tableau, l'énergie d'inflammation est à considérer comme :

- ✓ Forte lorsque la source d'ignition est une explosion primaire ou un explosif condensé ;
- ✓ Faible lorsque la source d'inflammation potentielle se limite aux sources courantes comme les surfaces chaudes, les étincelles, les flammes nues, etc.

| Energie d'inflammation | | Le degré d'encombrement | | | Le degré de confinement | | Indice |
|------------------------|-------|-------------------------|--------|------------|-------------------------|------------|--------|
| faible | forte | fort | faible | inexistant | existant | inexistant | |
| | × | × | | | × | | 7 - 10 |
| | × | × | | | | × | 7 - 10 |
| × | | × | | | × | | 5 - 7 |
| | × | | × | | × | | 5 - 7 |
| | × | | × | | | × | 4 - 6 |
| | × | | | × | × | | 4 - 6 |
| × | | × | | | | × | 4 - 5 |
| | × | | | × | | × | 4 - 5 |
| × | | | × | | × | | 3 - 5 |
| × | | | × | | | × | 2 - 3 |
| × | | | | × | × | | 1 - 2 |
| × | | | | × | | × | 1 |

La détermination des distances d'effet s'effectue en appliquant la méthode multi-energy, sur l'abaque suivante (une courbe par indice).



Abaque de la méthode multi-energy du TNO.

La détermination de l'énergie de l'explosion de gaz s'effectue à partir de l'équation de Brode :

$$E = \frac{(P_{ex} - P_a)V_g}{\gamma_g - 1}$$

Avec :

- E : Energie d'explosion (J)
- V_g : Volume de l'enceinte considérée (m³)
- P_{ex} - P_a : Surpression maximale dans le nuage (Pa) déterminée d'après l'indice multi-energy
- γ_g : Rapport des chaleurs spécifiques du gaz du nuage

On a généralement E = 3.(P_{ex} - P_a).V_g

4.1.1.3 Effets des ondes de surpression

Ce tableau résume les atteintes aux structures et à l'homme en fonction du niveau de surpression (d'après l'INRS).

| Surpression brutale (mbar) | Dégâts correspondants sur les structures |
|----------------------------|---|
| 40 à 70 | Bris des vitres, parfois dislocation des châssis |
| 70 à 150 | Lézardes et flexions des parois de plâtre ; cassure des plaques de fibrociments. Dislocation, gondolage des cloisons et des toits de tôles ondulés, des panneaux de bois. |
| 150 à 250 | Lézardes, cassures des murs en béton ou en parpaings, non armés, de 20 à 30 cm d'épaisseur |
| 200 à 600 | Rupture de réservoirs aériens (hydrocarbures, etc.) |
| 500 à 600 | Bombement ou rupture des murs de briques, non armés, de 20 à 30 cm d'épaisseur |
| 700 à 1000 | Renversement de wagons chargés, destruction de murs en béton armé. Soufflage de murs en brique |

| Surpression brutale (mbar) | Effet sur l'homme |
|----------------------------|---|
| 200 | Supportée sans danger |
| 300 | Peut entraîner la rupture du tympan |
| 500 | Limite de ce qui peut être supporté avec protections des oreilles |
| 1000 | Peut provoquer des lésions graves aux oreilles et aux poumons |
| > 5000 | Peut être mortelle |

Les valeurs de références pour les installations classées sont les suivantes (arrêté du 29 septembre 2005 [2]) :

- ✓ Effets sur les structures :
 - 20 mbar, seuil des destructions de vitres significatives ;
 - 50 mbar, seuil des dégâts légers sur les structures ;
 - 140 mbar : seuil des dégâts graves sur les structures ;
 - 200 mbar : seuil des effets domino ;
 - 300 mbar : seuil des dégâts très graves sur les structures.
- ✓ Effets sur l'homme :
 - 20 mbar : seuil des effets irréversibles correspondant à la zone des effets indirects par bris de vitre sur l'homme ;
 - 50 mbar : seuils des effets irréversibles correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine (toujours par effet indirect du type effondrement partiel d'une structure) ;
 - 140 mbar : seuil des premiers effets létaux correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine ;
 - 200 mbar : seuil des effets létaux significatifs correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine.