



Session  
Traitement in situ des sols – retours d'expérience

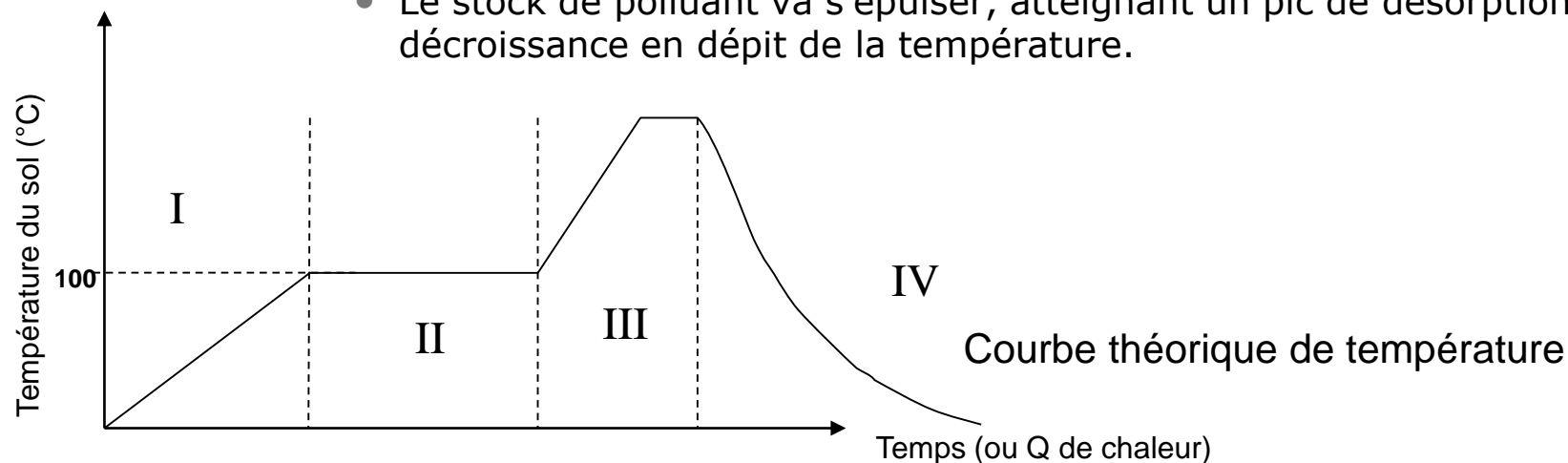
# **DESORPTION THERMIQUE**

**1** principe

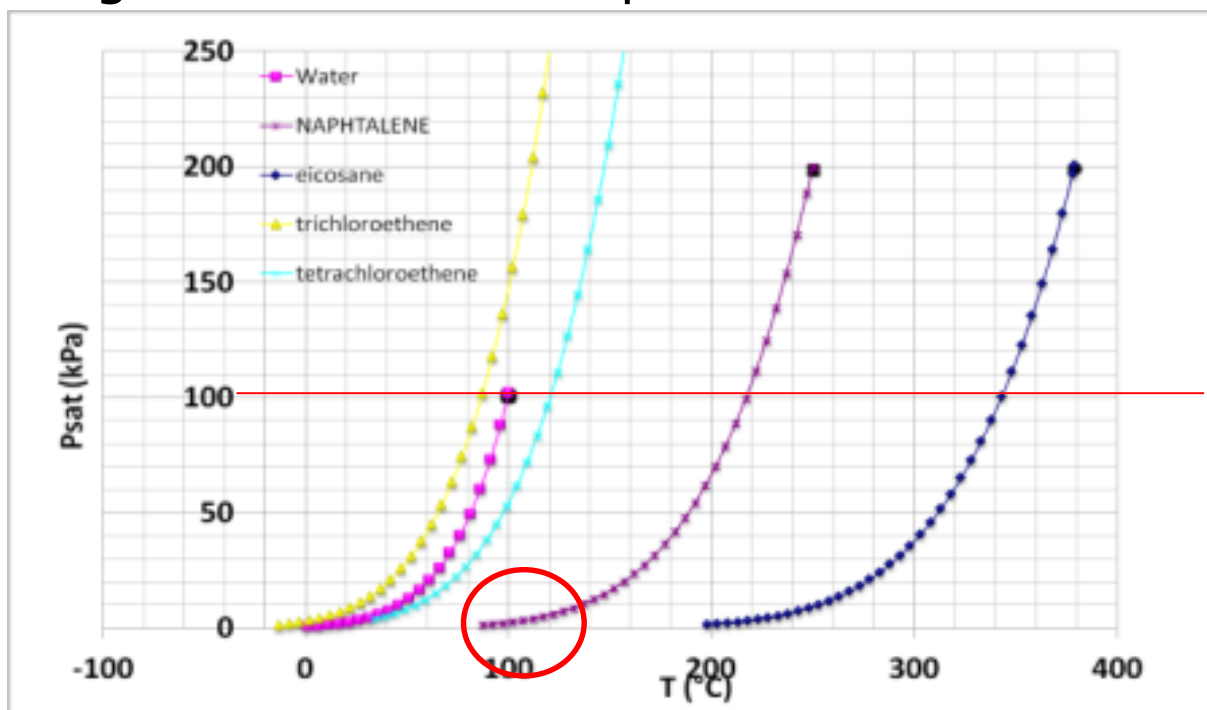
**2** mises en œuvre

- ❖ **Principe**
- ❖ **Rex « chaud » sur PCB**
- ❖ **Rex « tiède » sur naphthalène**
- ❖ **conclusion**

- Le traitement par désorption thermique permet de créer les conditions thermodynamiques favorables à la désorption du polluant.
- Une fois désorbé, ce polluant est collecté par un réseau de venting classique, adapté à des hautes températures.
- Un tel traitement comporte plusieurs phases :
  - Phase I → Installation des conditions de désorption
  - Phase II → L'apport d'énergie permet l'assèchement et donc l'ouverture porale des sols, améliorant les performances du venting.
  - Phase III → Désorption
    - L'augmentation de la température favorise la vaporisation, en augmentant la pression partielle de polluant dans le gaz du sol.
    - Le stock de polluant va s'épuiser, atteignant un pic de désorption puis une décroissance en dépit de la température.



- Dans la littérature, on trouve que la  $P_{sat}$  du naphthalène à 20°C est de l'ordre de 7,2 Pa. Selon l'équation d'Antoine, la  $P_{sat}$  du naphthalène à 87°C est de 1,37 kPa.
- C'est-à-dire qu'à l'équilibre, il y a 190 fois plus de naphthalène dans les gaz du sol à 87 °C qu'à 20 °C.

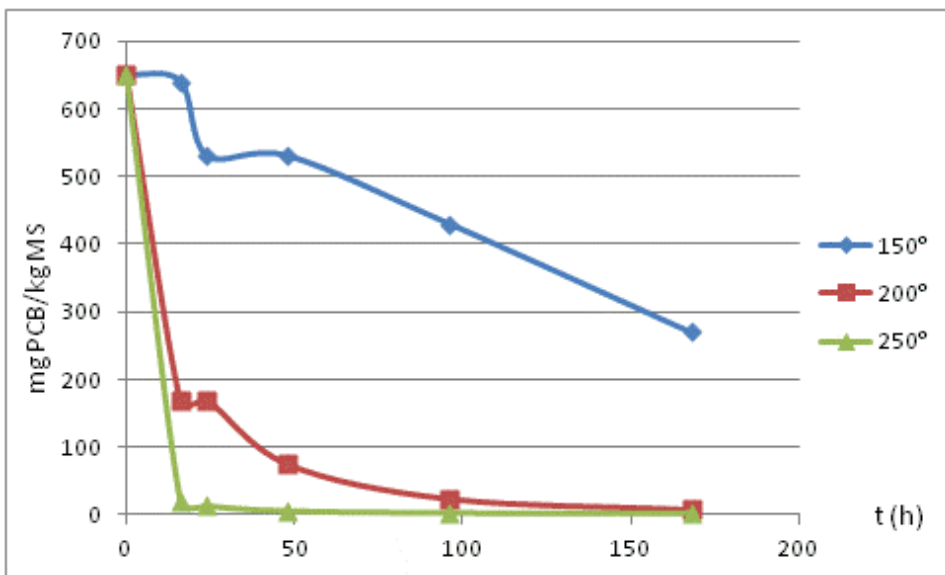


Courbes de pression saturante : chaque composé présente un niveau de volatilisation variant en fonction de la température

À 100 kPa :  $T^\circ$  d'ébullition sous 1 atm

- Au laboratoire de VALGO :

Les terres contaminées sont introduites dans une unité de désorption, munie d'une ventilation, à différentes températures. Des échantillons du sol en cours de désorption sont prélevés périodiquement et la teneur résiduelle en polluants est mesurée.



**Validation des interactions chimiques**

- Pour estimer les phénomènes physiques, nous avons créé un code de calcul avec le Groupe d'Etude des Milieux Poreux de l'IMFT
- Le modèle prend en compte les gaz de l'air, l'eau et la vapeur, ainsi qu'un polluant.
- + grandeurs de la matrice sol
- Le calcul démarre en appliquant une température et une différence de pression entre 2 points
- Le logiciel calcule les vecteurs vitesses et pression, ainsi que leurs évolutions de proche en proche
- → **ETUDE Physique et Dynamique**

```

format      ascii;
class       dictionary;
location    "constant";
object      transportProperties;
}
// *****

transportModel Newtonian; // necessaire pour la boucle pimple
nu           nu [ 0 2 -1 0 0 0 ] 1e-05; // necessaire pour la boucle pimple(modele de turbulence en realite desactive dans le
createFields.H)

// [kg m s K kgMol A cd ]
k           k [ 0 2 0 0 0 0 ] 1e-10;
mu          mu [ 1 -1 -1 0 0 0 ] 1.8e-05;
eps_l       eps_l [ 0 0 0 0 0 0 ] 0.1;
eps_g       eps_g [ 0 0 0 0 0 0 ] 0.3;

rho_l       rho_l [ 1 -3 0 0 0 0 ] 1000;
rho_P       rho_P [ 1 -3 0 0 0 0 ] 1162;
rho_s       rho_s [ 1 -3 0 0 0 0 ] 1800;

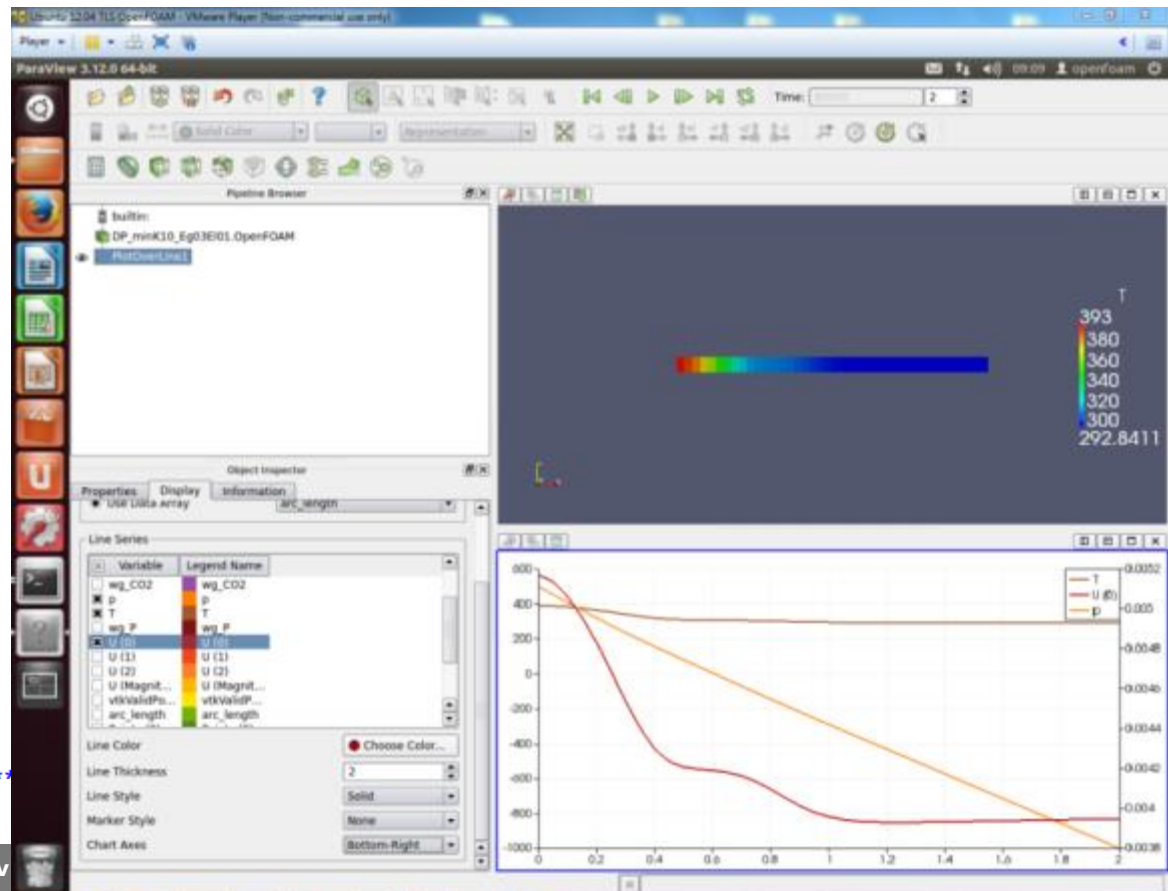
lambda      lambda [ 1 1 -3 -1 0 0 ] 0.8;
D           D [ 0 2 -1 0 0 0 ] 1e-6;
Cpg         Cpg [ 0 2 -2 -1 0 0 ] 1000;
Cps         Cps [ 0 2 -2 -1 0 0 ] 2000;
Cpl         Cpl [ 0 2 -2 -1 0 0 ] 2000;

M_h2o       M_h2o [ 1 0 0 0 -1 0 ] 18;
M_N2        M_N2 [ 1 0 0 0 -1 0 ] 28;
M_CO2       M_CO2 [ 1 0 0 0 -1 0 ] 44;
M_O2        M_O2 [ 1 0 0 0 -1 0 ] 32;
M_P         M_P [ 1 0 0 0 -1 0 ] 128;

R           R [ 1 2 -2 -1 -1 0 ] 8314.4621;
p0          p0 [ 1 -1 -2 0 0 0 ] 101325;

sigma       sigma [ 0 0 -1 0 0 0 ] 0.5;
// *****

```



- ❖ Principe
- ❖ **Rex « chaud » sur PCB**
- ❖ Rex « tiède » sur naphtalène
- ❖ conclusion



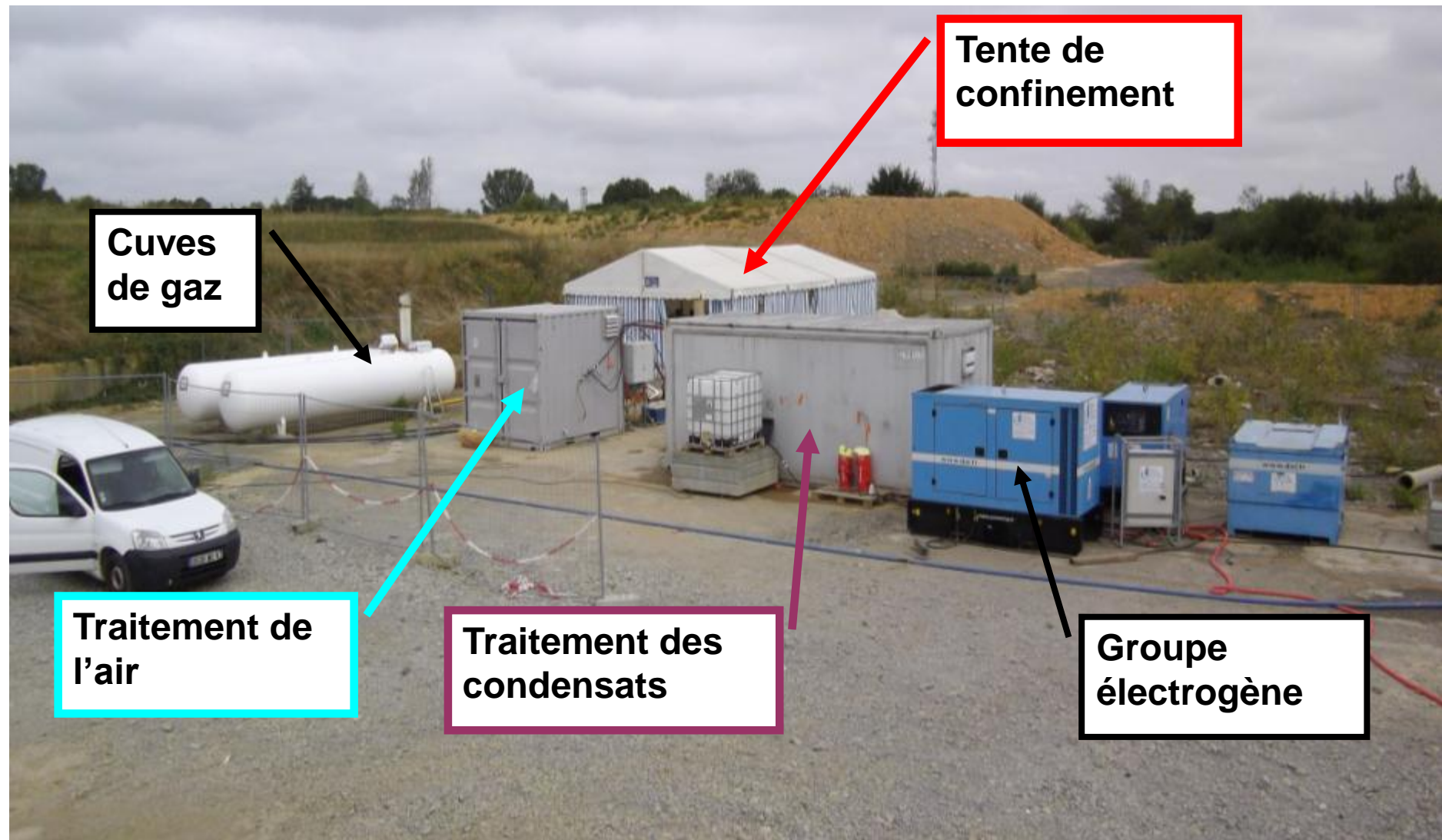
## RETOUR d'expérience Haute température : PCB

Pollution : PCB.

températures à atteindre : 300°C

Type de brûleurs : à gaz.

Cette première réalisation sur ces polluants particulièrement dangereux, a été validée par un essai pilote de 4 mois, réalisé sous tente, afin de contrôler les émanations vers l'atmosphère.





Brûleur



Tube de  
chauffe

Tube  
d'extraction  
de vapeur









## Phase FULL SCALE

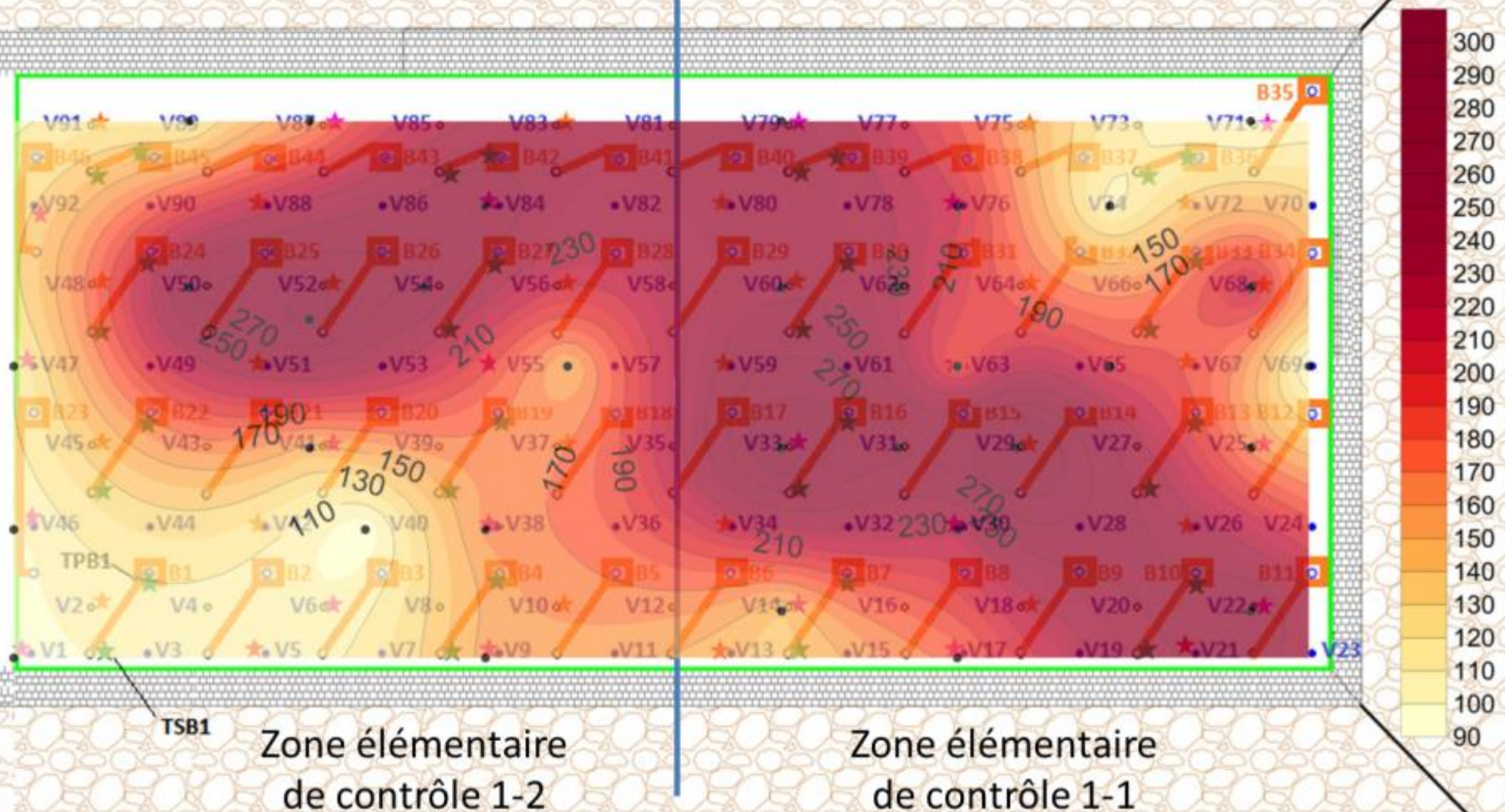
Traitement initialement découpé en 4 batch.

48 brûleurs ont été implantés, pour 96 puits de chauffe.

A l'issue du 1<sup>er</sup> batch, 700 T de terres ont été réceptionnées, mais le comportement hydrique du sol a contraint à prévoir des modifications d'implantation avant le traitement des batch suivants.

Les relevés de températures et les analyses en PCB ont montré une très forte corrélation entre la température finale et la diminution de la teneur en polluants, atteignant 99%.

# Batch 1



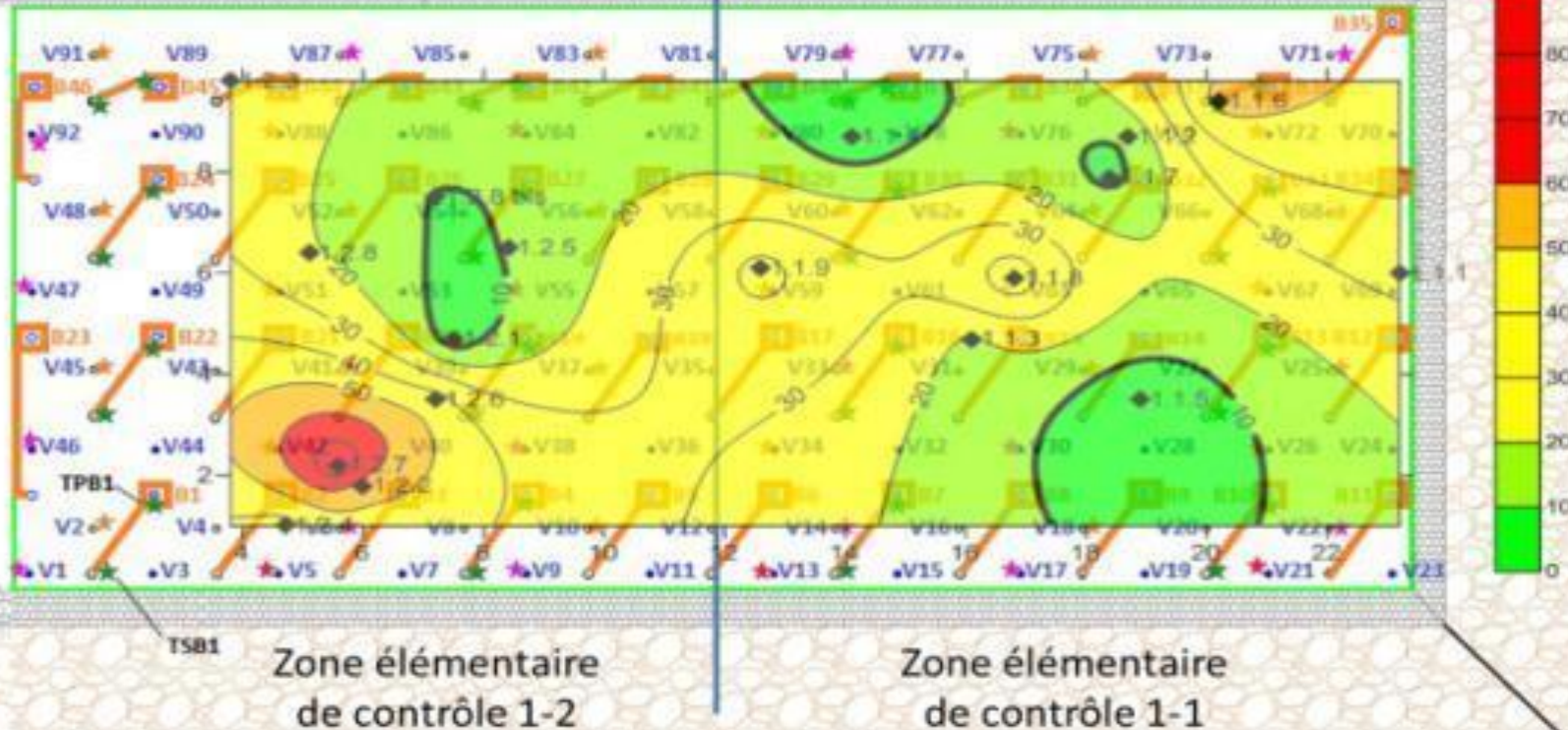
- ★ Thermocouple à -2.5m (TM)
- ★ Thermocouple à -4.5m (TF)
- ★ Thermocouple à -2.5m sur la paroi du tube de chauffe (TPBx et TSBx)

Bx : Brûleur 'x'

Vx : tube vapeur secondaire 'x'

# Batch 1

Résultats Analyses Sondages complémentaires  
Concentrations en PCB entre 0m et 2,8m



★ Thermocouple à -2.5m (TM)

★ Thermocouple à -4.5m (TF)

★ Thermocouple à -2.5m sur la paroi du tube de chauffe (TPBx et TS8x)

Bx : Brûleur 'x'

Vx : tube vapeur secondaire 'x'

- ❖ Principe
- ❖ Rex « chaud » sur PCB
- ❖ **Rex « tiède » sur naphthalène**
- ❖ conclusion

## RETOUR d'expérience Basse température : naphtalène

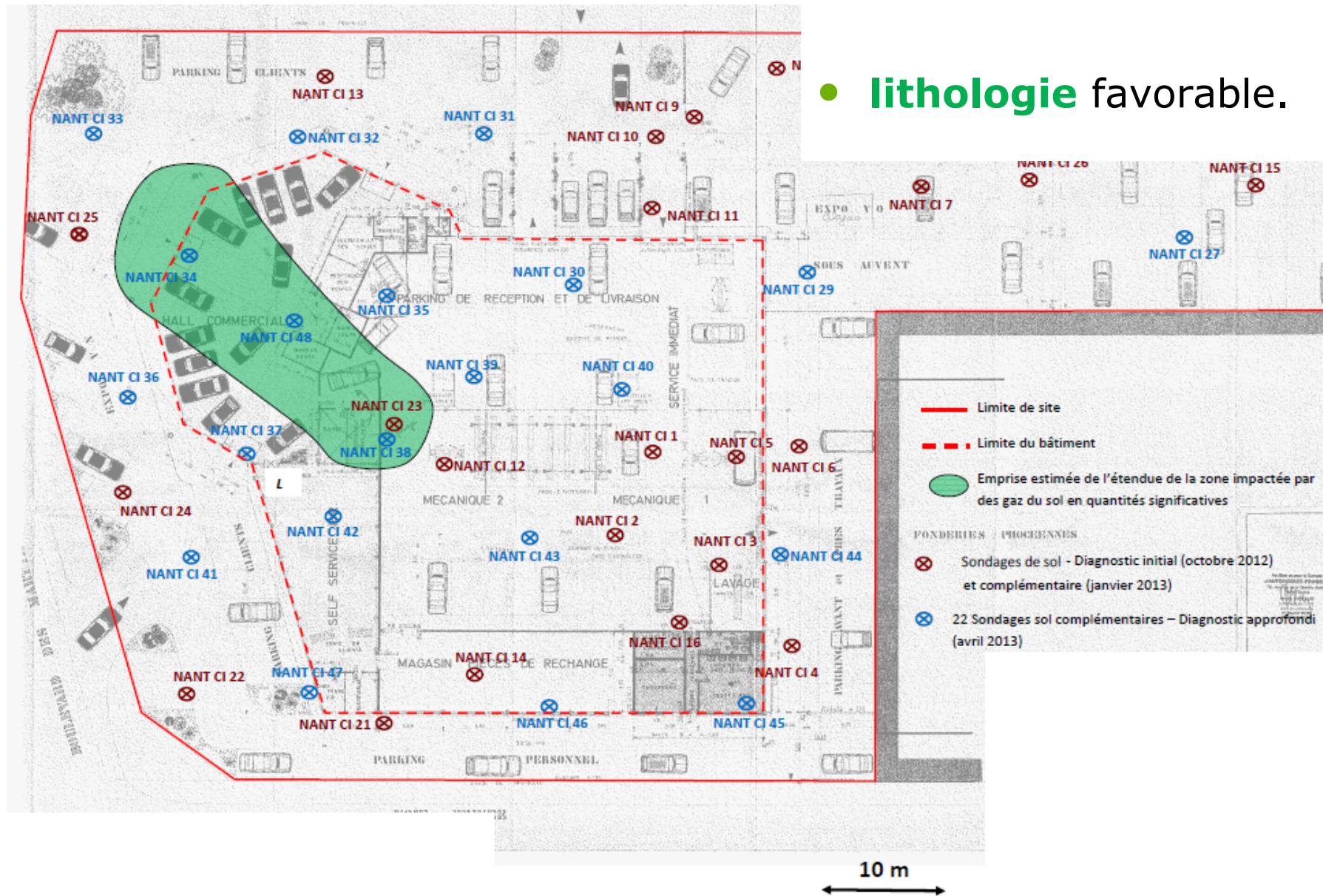
- Le chantier se situe à Nantes, zone en plein renouveau ; il s'agit d'une ancienne concession automobile, qui doit être cédée avant démolition, dans un projet de reconversion immobilière.



- Les polluants, BTEX et naphtalène, sont dans un panache principalement situé sous le bâtiment, provenant de l'activité d'une ancienne fonderie, avant aménagement.
- Concentration initiale* en naphtalène :  
9130  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dans les gaz du sol et 12 000 mg/kg MS sur les sols

## DIAGNOSTIC – ETUDE DE RISQUE

- **lithologie** favorable.





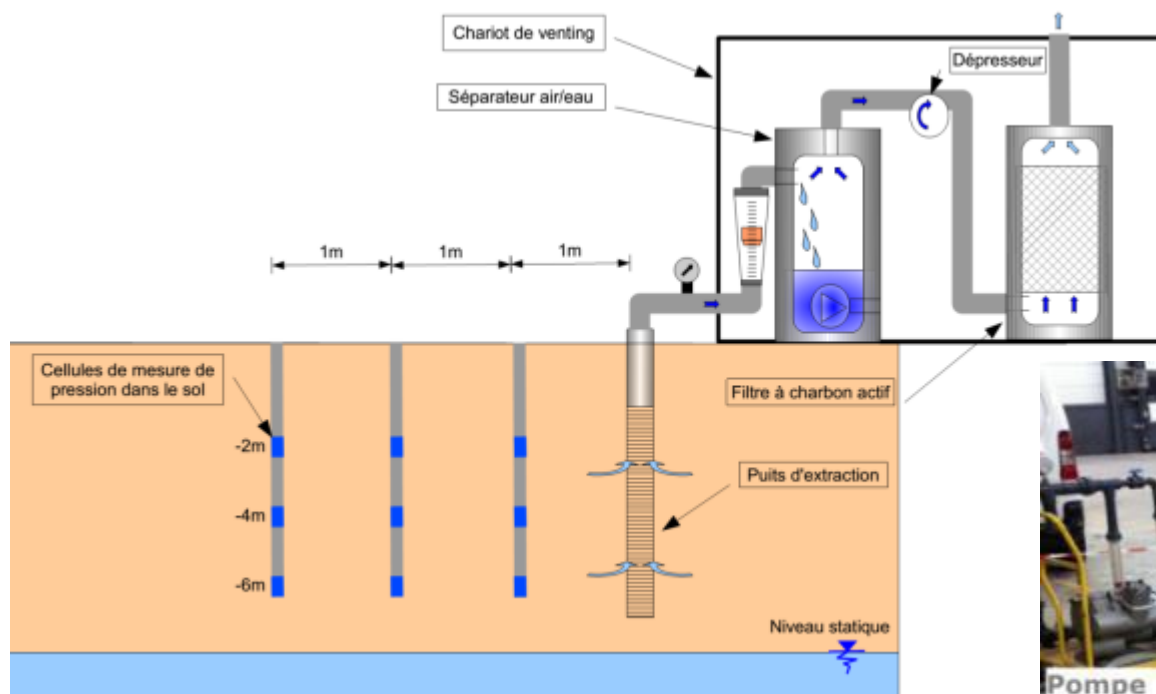
## OBJECTIFS DE REHABILITATION

- Le principe général de l'opération est de traiter les sources de pollution in situ, pour **atteindre des teneurs résiduelles en naphthalène inférieures à 300 µg/m<sup>3</sup>**, dans les gaz du sol.
- contraintes imposées par le site :
  - Délais courts
  - l'excavation trop contraignante
- La désorption thermique in-situ a été retenue
- → Phase pilote de 1 mois suivi d'un traitement de 4 mois

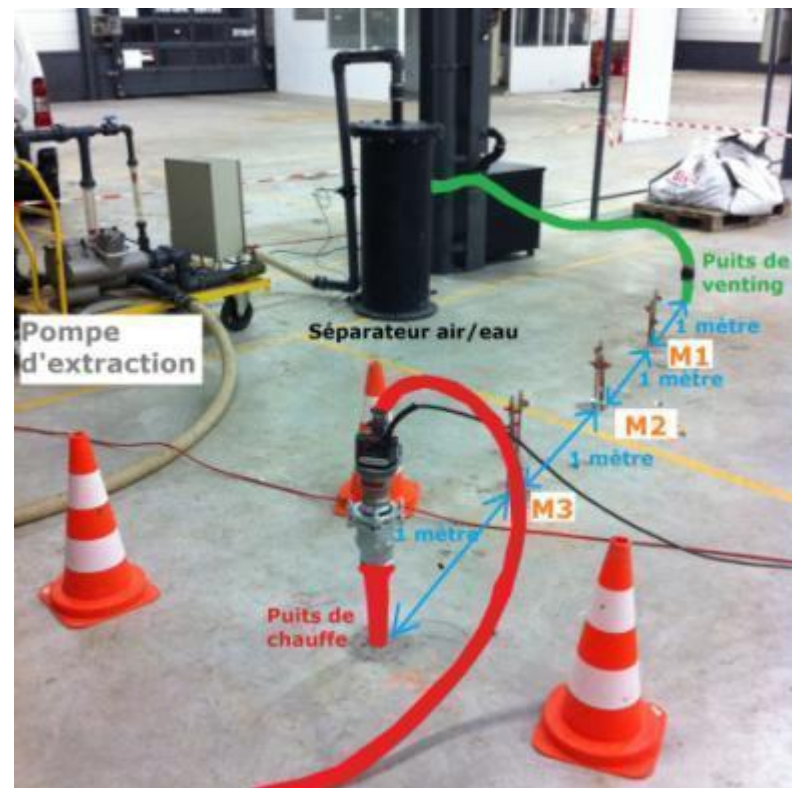
- En ambiance urbaine, la solution électrique a été retenue, rendue possible par le calibre de l'ancienne installation
- Dans le commerce des équipements industriels, on trouve des réchauffeurs électriques, à placer en ligne, avec différentes options de régulation et commandes.



# PHASE PILOTE



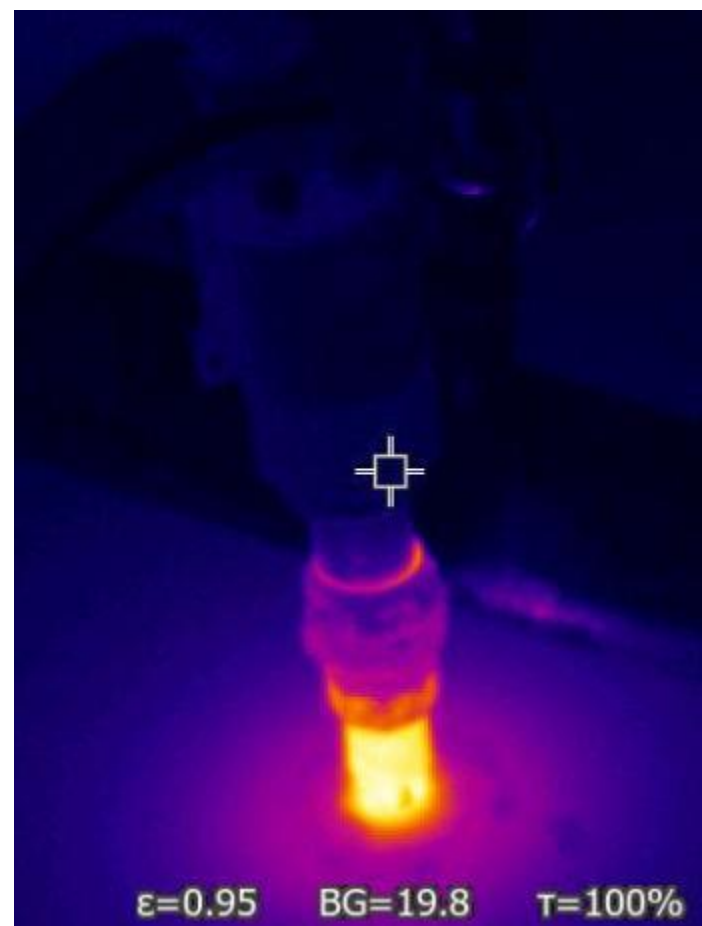
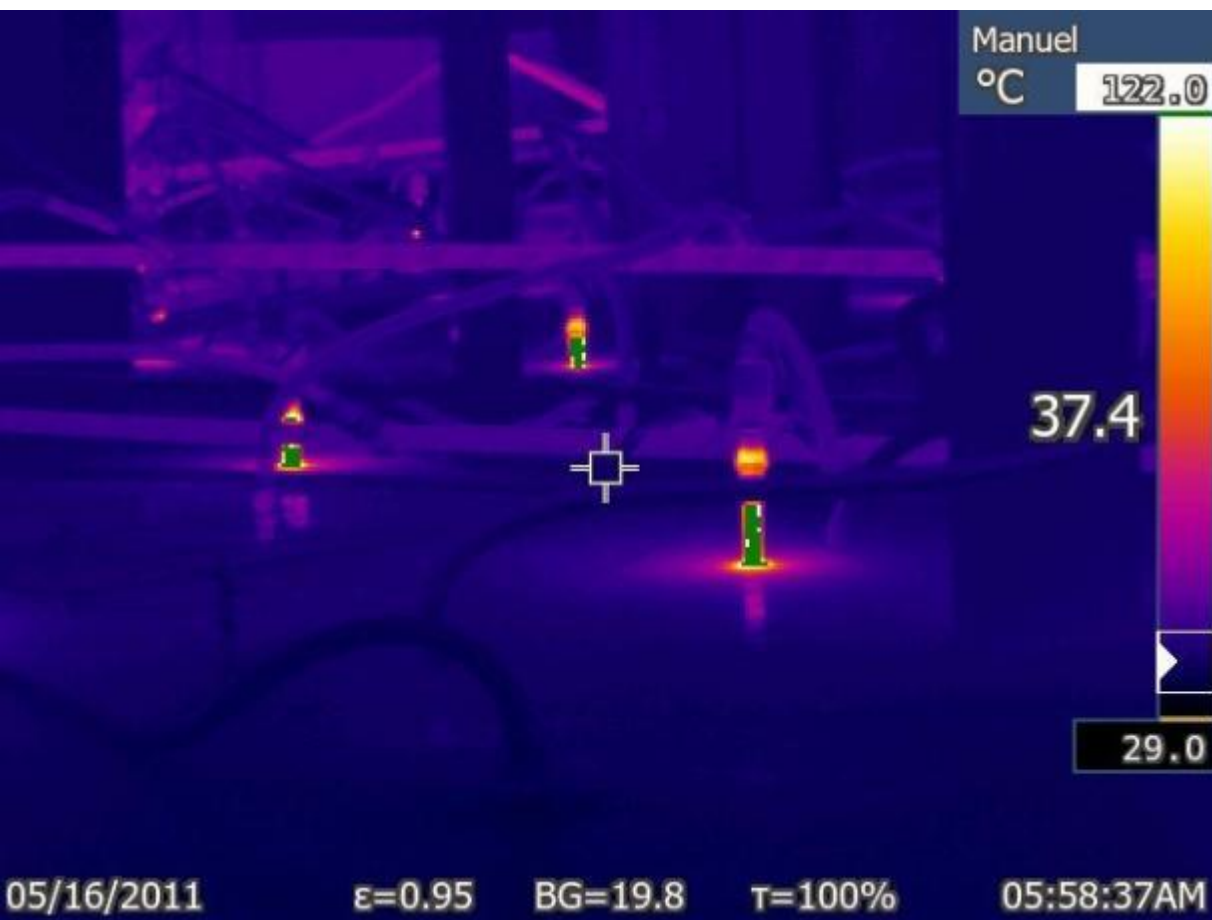
La perméabilité à l'air des sols a permis de déterminer un rayon d'influence des aiguilles de venting d'environ 2,40 m pour un débit expérimental de 25 m<sup>3</sup>/h



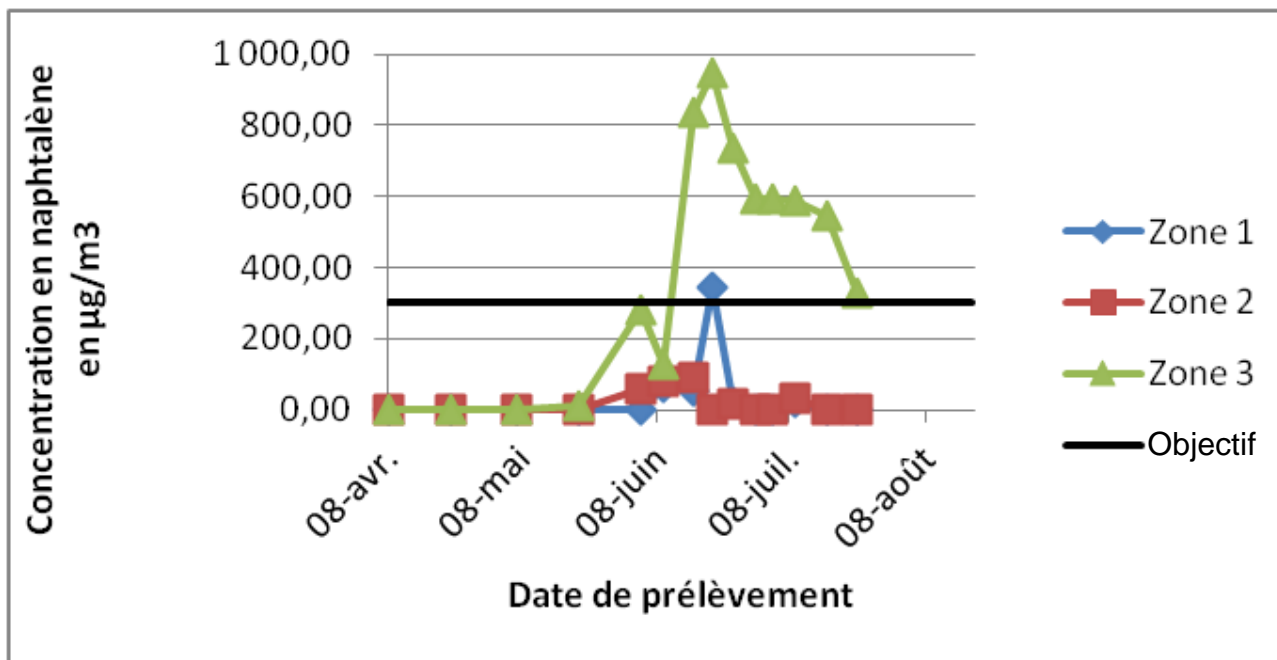


- 38 points chauds
- 46 points froids
- 1 filière de traitement des gaz, incluant un échangeur thermique, des séparateurs et des filtres à charbons actifs.





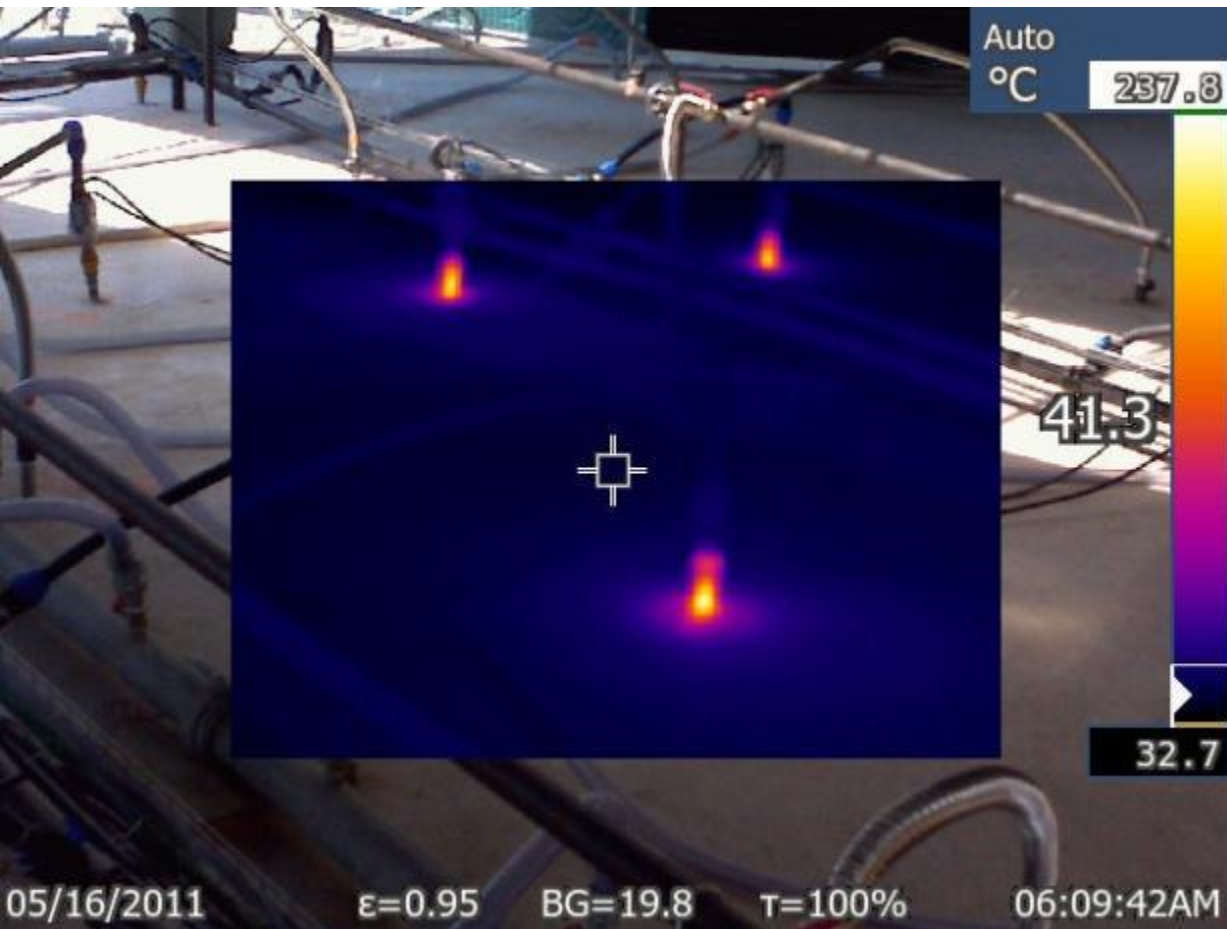
- Analyse hebdomadaire de la concentration en naphthalène du sol dans 3 puits de la zone de traitement



- A l'issue de 19 semaines de traitement on observe un abattement de 99% des pollutions sur la majeure partie des zones et l'atteinte des objectifs de  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur la quasi-totalité des zones traitées.

- Environ 1600 m<sup>3</sup> traités soit 2900 T
- Près de 5 kg de naphthalène pur récupéré
- Coût du traitement 100 €/T
- + 13 K€ d'électricité (4,50 €/T)

- Un principe physique simple
- De multiples mises en œuvre possible, pour faire face à la diversité des situations : tout est dans l'ingénierie



VALGO – Laboratoire  
72, bd A. Briand  
76650 PETIT COURONNE  
Contact :

[laurent.thannberger@valgo.com](mailto:laurent.thannberger@valgo.com)