

**Expéditeur :**

Bureau Veritas - Service Risques Industriels

Immeuble "Le Guillaumet"

60 avenue Charles de Gaulle

92046 Paris La-Défense

**Destinataire :**

CPCU - Site de Vaugirard

Mikael GUILLOT

25 Rue Georges Pitard

75015 PARIS

## Chaufferie CPCU de Vaugirard

### Verification du dimensionnement des événements des cuves de fioul vis-à-vis du phénomène de pressurisation de bac Note de calcul

**Référence : 665/247304**

VERSION	DATE D'EMISSION	AUTEUR	VERIFICATEUR
0	21/05/2012	Nguyen Thuy LE	Hubert LEDOUX

**BUREAU VERITAS – SERVICE RISQUES INDUSTRIELS**

60, avenue du Général de Gaulle – 92046 Paris La Défense

Ce rapport est la propriété de Bureau Veritas. Il ne doit pas être stocké, reproduit ou diffusé sans autorisation préalable.

## SOMMAIRE

<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>3</b>
1.1 CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ETUDE.....	3
1.2 DOCUMENTS DE REFERENCE.....	3
<b>2. CARACTERISATION DU PHENOMENE DANGEREUX</b> .....	<b>4</b>
2.1 DESCRIPTION DU SCENARIO ACCIDENTEL LIE AU PHENOMENE DANGEREUX DE PRESSURISATION LENTE DE BAC .....	4
2.2 MESURES DE MAITRISE DES RISQUES RELATIVES AU PHENOMENE DE PRESSURISATION DE BAC PRIS DANS UN INCENDIE .....	5
<b>3. DIMENSIONNEMENT MINIMAL D'EVENT</b> .....	<b>6</b>
3.1 CALCUL DU DEBIT DE VAPORISATION.....	6
3.2 CALCUL DE LA SECTION MINIMALE D'EVENT .....	7
3.3 VERIFICATION DU DIMENSIONNEMENT DES EVENTS EXISTANTS .....	9
<b>4. CONCLUSION</b> .....	<b>10</b>
<b>5. ANNEXE 1 : DISTANCES D'EFFETS DE LA PRESSURISATION LENTE DE BAC (EVENTS ACTUELS NON CORRECTEMENT DIMENSIONNES)</b> .....	<b>11</b>

## 1. Introduction

---

### 1.1 Contexte et objectif de l'étude

Par courrier du 26 janvier 2012, la DRIEE Ile-de-France demande à la CPCU VAUGIRARD de prendre en compte le phénomène de pressurisation de bac pris dans un incendie dans le cadre de la mise à jour de l'étude de dangers.

Toutefois, en application de la circulaire du 10 mai 2010, ce phénomène de pressurisation de bac pourra être exclu des scénarios accidentels envisageables par la mise en place d'événements de respiration suffisamment dimensionnés pour évacuer le gaz en surpression.

Dans cette optique, CPCU demande à BV de réaliser une étude permettant de :

- Déterminer la surface minimale des événements des cuves de fioul permettant d'exclure le phénomène de pressurisation de bac des scénarios d'accidents majeurs,
- Déterminer si les travaux de mise en conformité des événements actuellement mis en place seront nécessaires pour permettre d'exclure ce phénomène dangereux.

A titre d'information, les résultats des modélisations du scénario accidentel de pressurisation de bac (correspondant au cas où les événements ne sont pas correctement dimensionnés) sont joints en annexe.

### 1.2 Documents de référence

- [1] Etude de dangers - Site de Vaugirard, BUREAU VERITAS, 2012
- [2] Circulaire du 10 mai 2010, récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003,
- [3] Les Boilover et autres phénomènes générant des boules de feu concernant les bacs des dépôts de liquides inflammables – GTDLI – juin 2007
- [4] Evaluation des effets thermiques liés au phénomène de pressurisation de bac atmosphérique à toit fixe de liquides inflammables pris dans un incendie extérieur– UFIP – Novembre 2008
- [5] Note d'accompagnement du modèle permettant d'évaluer les effets thermiques liés au phénomène de pressurisation de bac atmosphérique à toit fixe de liquides inflammables pris dans un incendie extérieur – MEEDAT – Décembre 2008
- [6] EN 14015 : Spécification pour la conception et la fabrication de réservoirs en acier, soudés, aériens, à fond plat, cylindriques, verticaux, construits sur site destinés au stockage des liquides à la température ambiante ou supérieure – Juin 2005
- [7] API 2000 : Venting Atmospheric and Low-pressure Storage Tanks, Sixth Edition – Nov. 2009
- [8] API Std 521 Guide for Pressure-relieving and Depressuring Systems: Petroleum petrochemical and natural gas industries-Pressure relieving and depressuring systems, Fifth Edition

## 2. Caractérisation du phénomène dangereux

### 2.1 Description du scénario accidentel lié au phénomène dangereux de pressurisation lente de bac

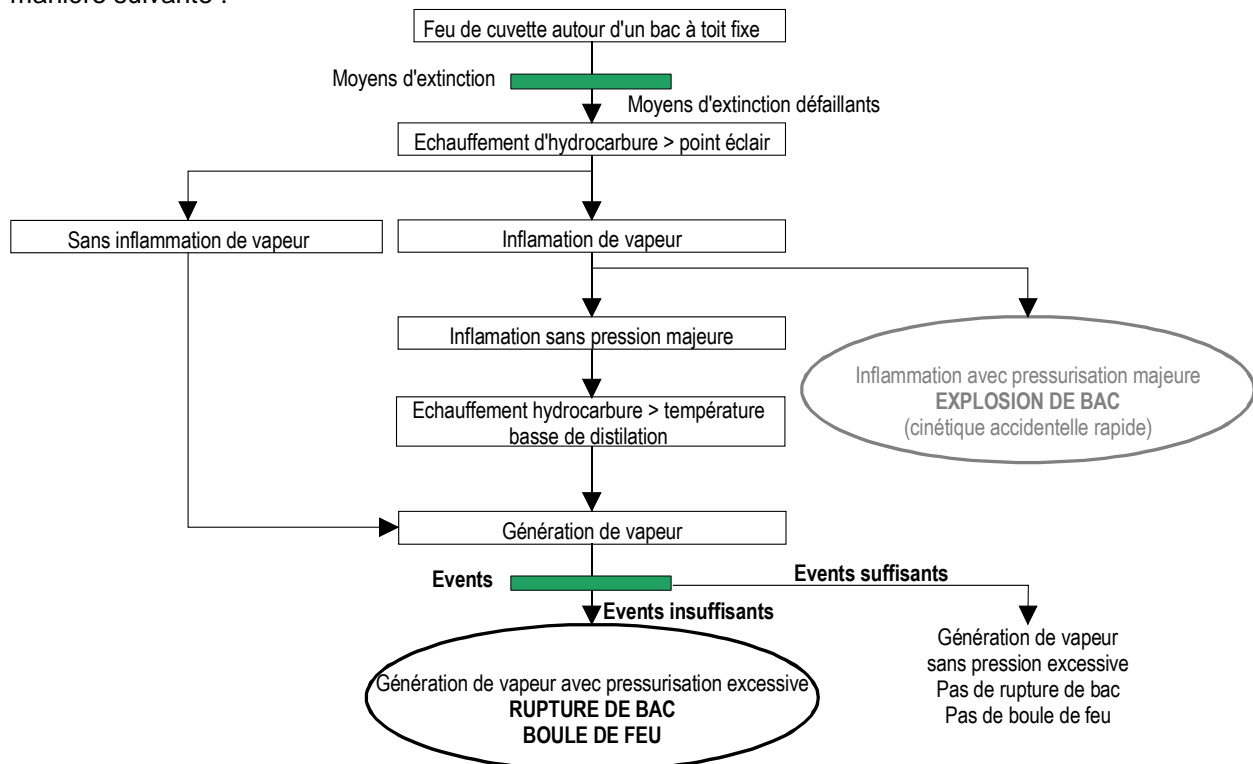
Le phénomène dangereux étudié découle des effets de pressurisation de bac pris dans un incendie. A partir de ce scénario accidentel qui met en jeu une montée en pression interne, on distingue deux conséquences possibles associées à des mécanismes et à des cinétiques différentes :

- 1<sup>ère</sup> conséquence possible : l'inflammation de la phase gazeuse d'un bac de liquide inflammable peut conduire à une montée en pression « **rapide** ». On aboutit alors à une explosion pneumatique interne avec rupture du bac. Ce phénomène a fait l'objet d'une modélisation des effets de surpression dus à une explosion de bac atmosphérique dans l'étude de dangers du site de la CPCU Vaugirard 2012 [1]. **Il ne sera pas étudié plus loin dans ce rapport.**

- 2<sup>ème</sup> conséquence possible : la pressurisation « **lente** » est un autre type de phénomène dangereux qui se caractérise par une montée en pression relativement lente, du fait de la vaporisation du produit contenu dans un réservoir pris dans un feu enveloppant. La pression atteinte par les vapeurs de liquide inflammable peut alors être importante et lorsque l'enveloppe du réservoir cède, une boule de feu liée à une vaporisation partielle instantanée du produit surchauffé et une inflammation des produits peut être générée.

**Seule la 2<sup>ème</sup> conséquence possible est considérée dans ce rapport : la pressurisation lente des bacs de fioul lourd A ou B qui présentent tous deux des spécifications de construction et des conditions d'exploitation identiques.**

La séquence des événements pouvant mener à la pressurisation lente de bac est schématisée de manière suivante :



## **2.2 Mesures de maîtrise des risques relatives au phénomène de pressurisation de bac pris dans un incendie**

Au départ d'un incendie à proximité des bacs de stockage de fioul, les principales mesures de maîtrise des risques (MMR) retenues par la CPCU Vaugirard pour s'opposer au phénomène de pressurisation de bac sont les suivantes (cf. schéma précédent) :

- Les moyens d'extinction d'incendie : RIA, extincteurs répartis dans la zone, couronnes d'arrosage, dispositif d'injection de mousse dans le bac de fioul..., associés à la détection d'incendie, aux automatismes de mise en sécurité et à l'intervention humaine, ces moyens sont utilisés pour éviter l'extension et la durée du feu qui constituent les événements initiateur du phénomène de pressurisation de bac.
- La mise en œuvre d'événements de telle sorte que la montée en pression du bac par vaporisation de produit contenu soit insuffisante pour donner lieu à une perte d'intégrité du bac. **Correctement dimensionnée, il s'agit d'une mesure de conception qui permet d'exclure le scénario de pressurisation lente de bac de l'étude de dangers, en application de la circulaire du 10 mai 2010 [2] (§1.2.8 A.3).**

Le dimensionnement minimal des événements est exposé dans le paragraphe suivant.

### 3. Dimensionnement minimal d'événement

---

Ce présent paragraphe reprend la méthode de dimensionnement des événements issue de la note technique diffusée par le groupe de travail GT DLI [3] en juin 2007.

Elle consiste, en premier lieu, à calculer le débit de vaporisation du bac pris dans un incendie, puis à calculer la surpression interne et déduire la section minimale d'événement nécessaire pour évacuer cette surpression.

#### 3.1 Calcul du débit de vaporisation

Les modalités de calcul du débit de vaporisation adoptées par le GT DLI s'appuient sur les normes et référentiels suivants :

- EN 14015 [6]
- API 2000 [7]
- API Std 521 [8]

La norme EN14015 détermine le dimensionnement de l'événement suivant la relation suivante :

$$U_{FB} = P \cdot \frac{R_i}{H_v} \cdot \sqrt{\frac{T}{M}} \quad (1)$$

$U_{FB}$  : débit de vaporisation (en Nm<sup>3</sup>/h d'air)  
P : puissance de l'incendie (en W)  
 $R_i$  : coefficient de réduction pour prendre l'isolation thermique (1 si aucun isolant)  
 $H_v$  : Chaleur de vaporisation (en kJ/kg)  
T : température d'ébullition (en K)  
M : masse molaire en kg/kmole

La puissance P est déterminée par l'API 2000 :

$$P = 43200A^{0,82} \text{ W} \quad (2)$$

Avec A : surface de robe (en m<sup>2</sup>) en contact du liquide avec une hauteur plafonnée à 9 m.

Toutefois, la norme API Std 521 considère un coefficient C= 1,64 qui correspond à une rétention mal drainée pour écarter les liquides inflammables du bac et à un défaut de la protection incendie.

Ce coefficient est retenu par le GT DLI. Par conséquent, la relation (1) devient :

$$U_{FB} = 70900 \cdot A^{0,82} \cdot \frac{R_i}{H_v} \cdot \sqrt{\frac{T}{M}} \quad (3)$$

### Application numérique :

Données d'entrée	Valeurs	Commentaires
Diamètre du bac (m)	20	
Hauteur max de liquide (m)	9	
Aw: surface de robe au contact du liquide (m <sup>2</sup> )	565.49	Surface correspondant à la hauteur maximale de robe au contact du liquide (9 m)
Ri: Coef de réduction pour l'isolation thermique (1 si aucune isolation)	1	Pas d'isolation thermique autour de la robe
Hv: Chaleur de vaporisation (kJ/kg)	335	335kJ/kg pour l'hexane qui est représentatif des hydrocarbures
T: Température d'ébullition (K)	342	Valeur correspondant à l'hexane qui est représentatif des hydrocarbures
M: masse molaire (kg/kmole)	86.00	Valeur correspondant à l'hexane qui est représentatif des hydrocarbures

$$\Rightarrow \quad U_{FB} = 76270 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\text{Soit} \quad U_{FB} = 21,19 \text{ Nm}^3/\text{s} \quad (4)$$

### 3.2 Calcul de la section minimale d'évent

Selon la note du GT DLI [3], la surpression atteinte dans un réservoir pris dans un feu enveloppant et devant être évacuée  $\Delta_p$  peut être évaluée par la relation suivante :

$$\Delta_p = \frac{1}{2} \rho_{air} \left( \frac{U_{FB}}{C_D \cdot S_e} \right)^2 \quad (5)$$

$\rho_{air}$  : masse volumique de l'air, soit 1,3 kg/m<sup>3</sup>  
 $C_D$  : coefficient aérodynamique de l'évent (entre 0,6 et 1)  
 $S_e$  : section d'évent  
 $U_{FB}$  : débit d'évaporation en Nm<sup>3</sup>/s d'air

Ainsi, en considérant  $\Delta_p$  équivalent à la pression de design du bac, on peut déterminer la section minimale  $S_e$  par la relation suivante :

$$S_e = \sqrt{\frac{1}{2} \rho_{air} \left( \frac{U_{FB}^2}{C_D^2 \cdot \Delta_p} \right)} \quad (6)$$

Note importante : Dans le cas de la CPCU Vaugirard, la pression de design des cuves de fioul ne n'est pas disponible. Dans une approche majorante on considèrera que  $\Delta_p$  est équivalente à la pression de service spécifiée pour les cuves, soit 2500 Pa (ou 25 mbar). Les cuves de fioul ne présenteront aucun risque de perdre leur intégrité à cette valeur de surpression qui doit être nécessairement inférieure à la pression de design.

### Application numérique :

Données d'entrée	Valeurs	Commentaires
$\rho_{air}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1.30	Masse volumique de l'air
$U_{FB}$ (Nm <sup>3</sup> /s)	21.19	Valeur déterminée suivant (4)
$\Delta_p$ (Pa)	2500.00	Pression de design, ou à défaut, pression de service

⇒ **Section minimale d'événement  $S_e$  en fonction du coefficient aéraulique :**

Section minimale d'événement $S_e$ (m <sup>2</sup> )	Coefficient aéraulique de l'événement $C_D$
<b>0.35</b>	<b>1</b>
<b>0.38</b>	<b>0.9</b>
<b>0.43</b>	<b>0.8</b>
<b>0.49</b>	<b>0.7</b>
<b>0.57</b>	<b>0.6</b>



### **3.3 Vérification du dimensionnement des événements existants**

Les cuves A et B de la CPCU Vaugirard sont actuellement équipées chacune de deux événements de 300 mm de diamètre totalisant une surface d'événement de 0.14 m<sup>2</sup>, soit une valeur bien inférieure aux surfaces minimales d'événement calculées au paragraphe précédent.

**Par conséquent, les événements équipant actuellement les cuves A et B ne permettent pas d'exclure le phénomène dangereux de pressurisation lente de bac pris dans un incendie.**

A titre d'information, les distances d'effets associées au phénomène dangereux de pressurisation lente de bac dans la configuration actuelle sont présentées en annexe 1.

## 4. Conclusion

---

Les événements équipant actuellement les cuves de fioul lourd A et B de la CPCU Vaugirard ne répondent pas au critère de dimensionnement minimal de la note du GT DLI [3].

Selon cette note, le dimensionnement minimal d'événement à respecter afin d'exclure le phénomène dangereux de pressurisation lente de bac est le suivant (section minimale  $S_e$  en fonction du coefficient aérodynamique  $C_D$ , pour chaque cuve de fioul lourd) :

$S_e = 0,35 \text{ m}^2$  avec un coefficient aérodynamique  $C_D = 1$

$S_e = 0,38 \text{ m}^2$  avec un coefficient aérodynamique  $C_D = 0,9$

$S_e = 0,43 \text{ m}^2$  avec un coefficient aérodynamique  $C_D = 0,8$

$S_e = 0,49 \text{ m}^2$  avec un coefficient aérodynamique  $C_D = 0,7$

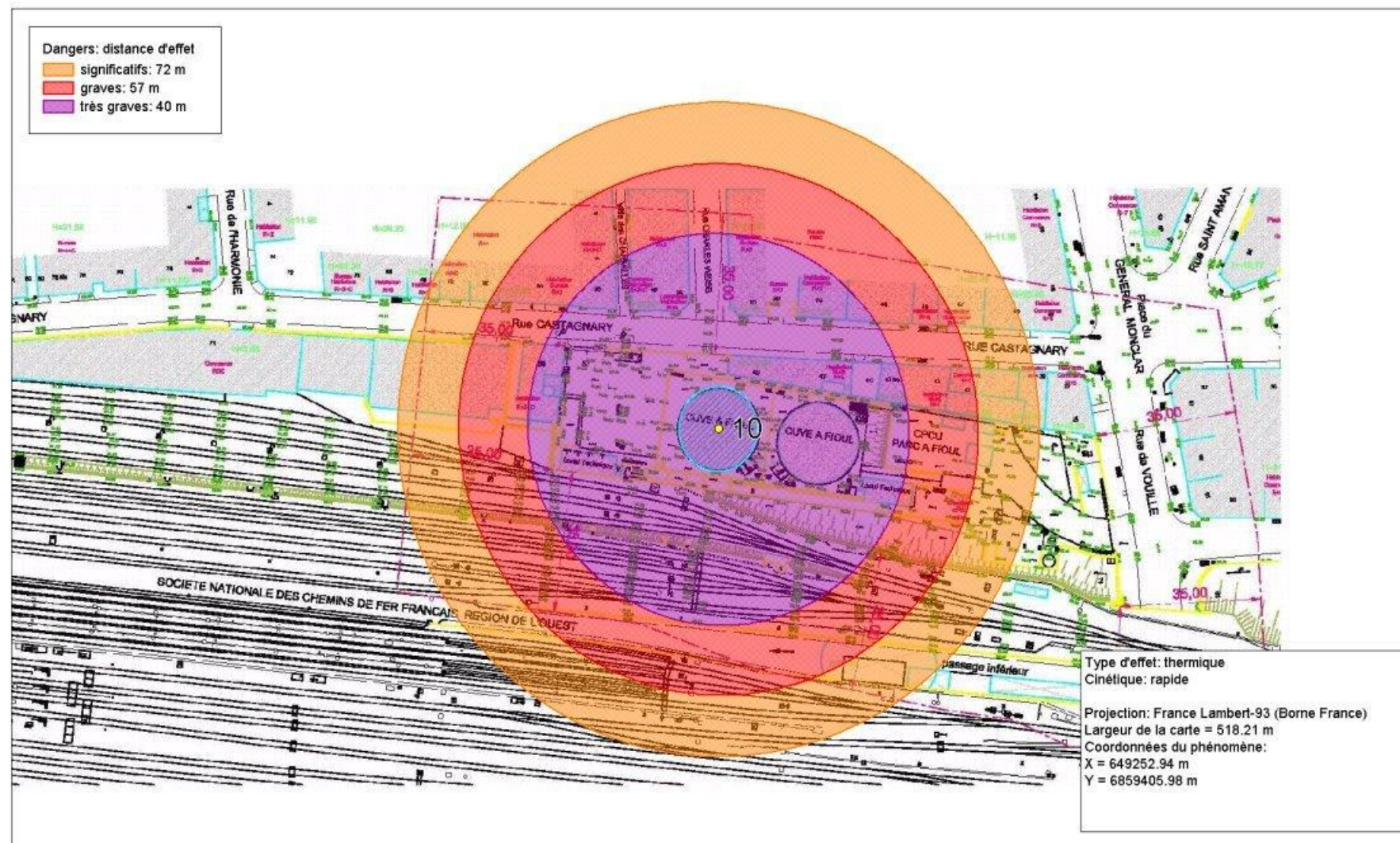
$S_e = 0,57 \text{ m}^2$  avec un coefficient aérodynamique  $C_D = 0,6$

## 5. Annexe 1 : Distances d'effets de la pressurisation lente de bac (événements actuels non correctement dimensionnés)

Résultats suivant l'outil de calcul du GT DLI :

<i>Résultats (effets thermiques)</i>		
Distance SEI	72	m
Distance SEL	57	m
Distance SELS	40	m

### CUVE A :

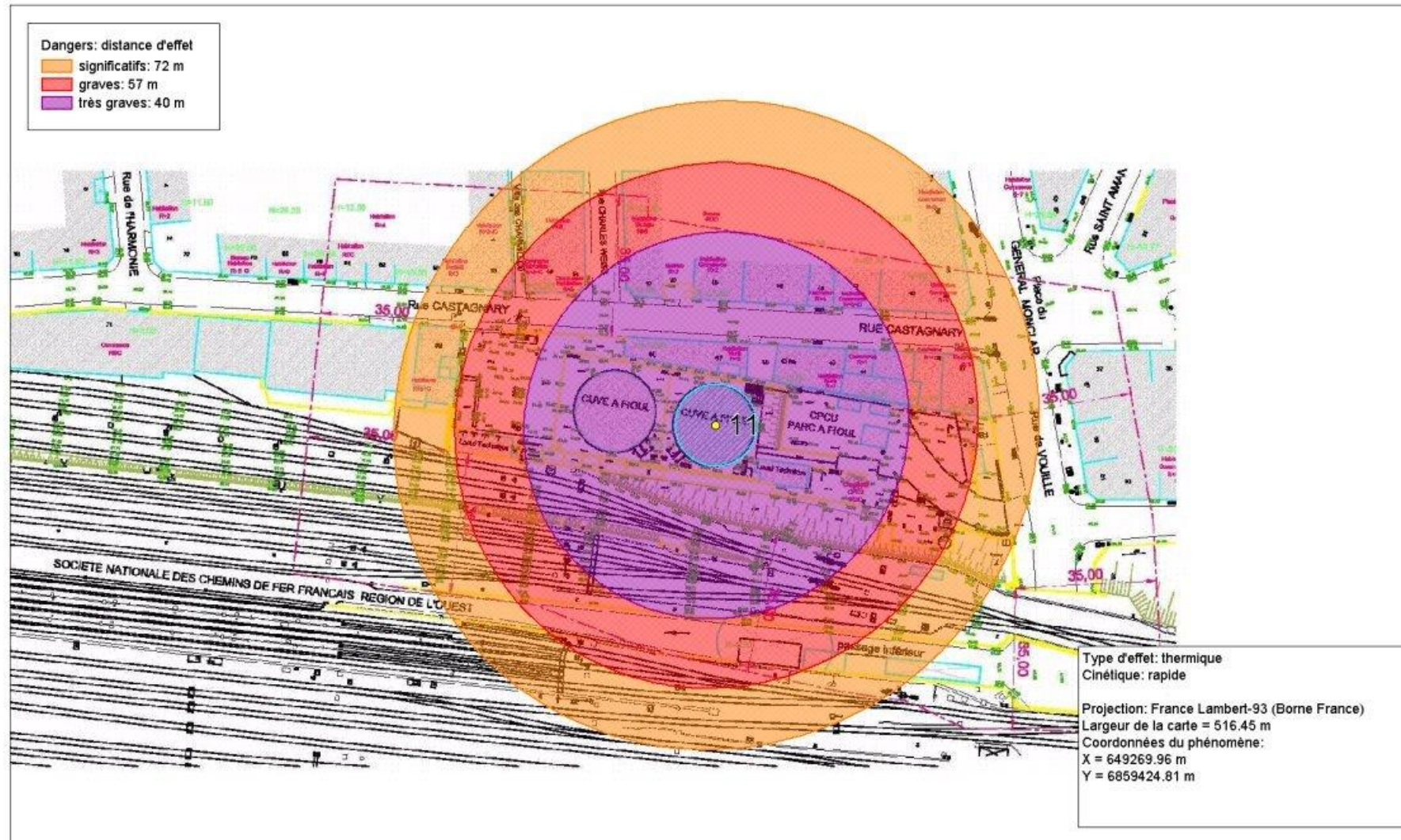


Sources:  
Dossier: Calculs\_du\_20120404\_1  
Rédaction/Édition: - 04/04/2012 - MAPINFO® V 10.5 - SIGALEA® V 3.1.0 - ©INERIS 2009





**CUVE B :**



Sources:  
Dossier: Calculs\_du\_20120404\_1  
Rédaction/Édition: - 04/04/2012 - MAPINFO® V 10.5 - SIGALEA® V 3.1.0 - ©INERIS 2009

