

Figure 4 : table photovoltaïque disposée à la verticale (groupement de modules photovoltaïques) - vue de face

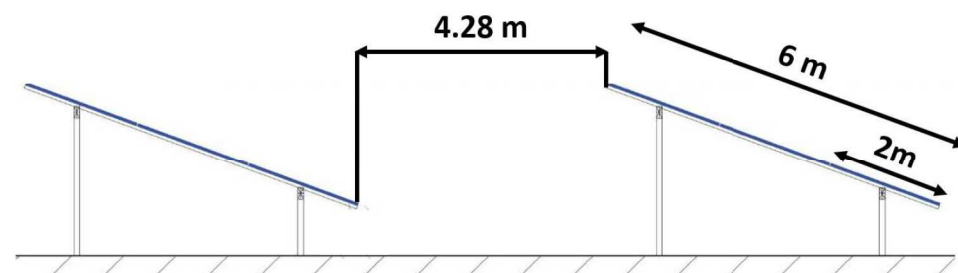


Figure 5 : tables photovoltaïques inclinées - vue de profil

2.1.3 Caractéristiques des modules photovoltaïques

Les caractéristiques des modules photovoltaïques sont les suivantes :

Caractéristiques d'un module photovoltaïque	
Type	Silicium
Poids unitaire	22 kg
Structure	Supports en acier fixés sur des longrines en béton
Composition des câbles de raccordement au réseau électrique	Aluminium ou Cuivre recouvert d'une gaine en PVC

Tableau 3 : caractéristiques des modules photovoltaïques

2.1.4 Environnement

2.1.4.1 Distances d'isolement de la zone considérée en feu vis-à-vis des limites de propriété

Les distances entre la zone considérée en feu et les limites de propriété les plus proches sont récapitulées dans le Tableau 4.

Orientation	Distance entre la zone considérée en feu et les limites de propriété les plus proches
Nord	Environ 17 m (au plus proche)
Est	Environ 87 m (au plus proche)
Sud	Environ 24 m (au plus proche)
Ouest	> 200 m

Tableau 4 : distances d'isolement de la zone considérée en feu vis-à-vis des limites de propriété

2.1.4.2 Distances d'isolement de la zone considérée en feu par rapport aux cibles identifiées (pour étude des effets domino)

Sont synthétisées dans le Tableau 5, les différentes cibles de l'étude ainsi que leurs distances d'isolement par rapport à la zone considérée en feu.

Direction considérée	Bâtiment / Installation existant(e) considéré(e)	Distance minimum d'isolement par rapport à la zone considérée en feu
Nord	-	-
Est	-	-
Sud	-	-
Ouest	Poste de transformation (Cible 1)	Environ 5 m
	Réserve aérienne incendie (Cible 2)	Environ 50 m
	Déchetterie (Cible 3)	Environ 95 m
	Torchères (3 en total) (Cible 4)	Environ 96 m
	Poste de livraison (Cible 5)	Environ 106 m
	Station de traitement des lixiviats (Cible 6)	Environ 115 m
	Installation de valorisation biogaz (Cible 7)	Environ 135 m
	Réseau biogaz aérien (Cible 8)	Répartition sur toute la zone considérée en feu (réseau aérien)

Tableau 5 : distances d'isolement des cibles par rapport à la zone considérée en feu

Est illustrée dans la Figure 6 une vue aérienne des cibles de l'étude.

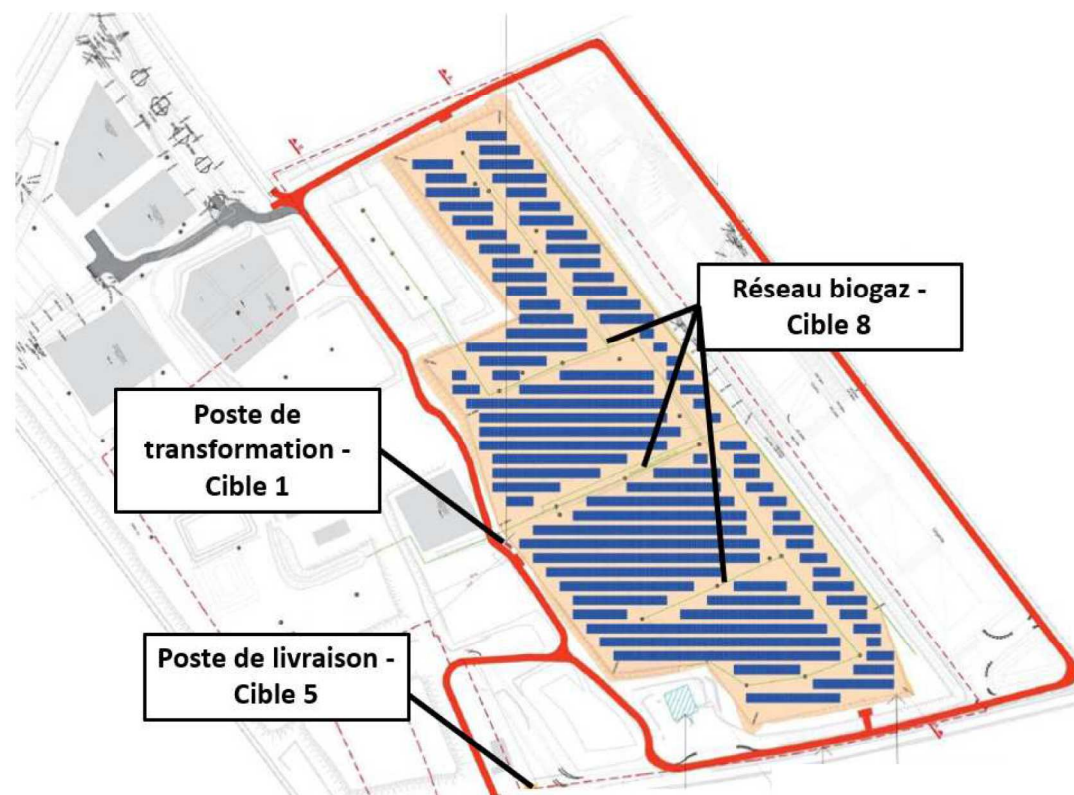
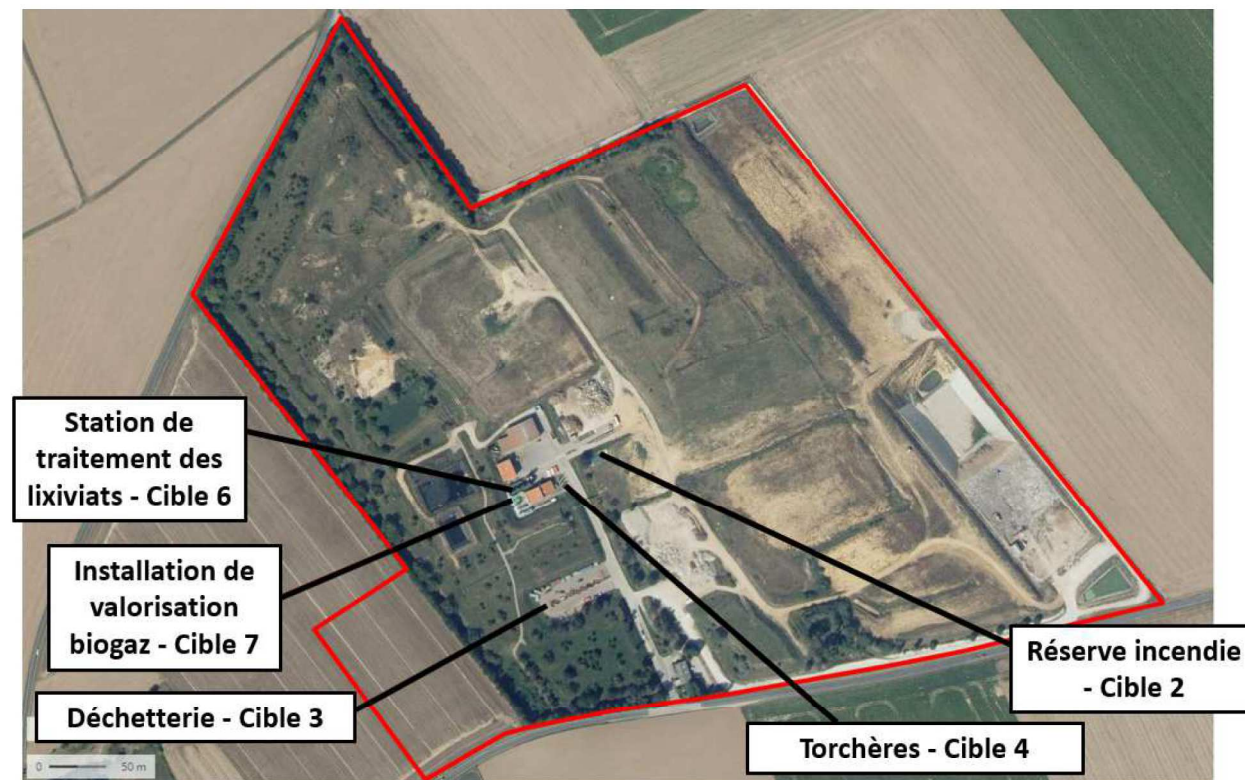


Figure 6 : vue aérienne des cibles de l'étude

2.2 Hypothèses de modélisation

2.2.1 Scénario retenu

Le scénario retenu traite un incendie se développant au niveau de la plateforme photovoltaïque.

Les hypothèses suivantes sont considérées :

- ✓ Départ de feu au niveau d'un module photovoltaïque. L'incendie constitue ensuite des zones de feu fort se déplaçant au fur et à mesure de l'épuisement du combustible ;
- ✓ Les moyens d'extinction n'ont pas permis de circonscrire le feu du module photovoltaïque dans sa phase d'éclosion ou de développement (hypothèse majorante) ou absence de toute intervention.

2.2.2 Modélisation de l'incendie

Les hypothèses suivantes sont retenues :

- ✓ Une surface en feu réaliste à un instant t est retenue pour calculer la hauteur et l'émittance de flamme : cette surface est considérée égale à $2 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ (surface projetée au sol d'un module photovoltaïque). La surface en feu initiale progresse ensuite avec une cinétique de propagation particulièrement lente pour couvrir la surface occupée par l'intégralité des modules photovoltaïques d'une table ; La vitesse de propagation d'un front de flamme mesurée pour des câbles de type thermoplastique est de $0,9 \text{ mm/s}$ [1]. A titre de comparaison, l'épuisement d'un mètre de câbles électriques de type thermoplastique nécessitera une durée de combustion de l'ordre de 20 minutes. Ceci consolide l'approche retenue d'une propagation très lente du foyer initial ainsi que la non-considération à un instant t d'un feu simultané de tous les modules photovoltaïques ;
- ✓ Compte-tenu de la composition et de la disposition des modules photovoltaïques, un taux de pyrolyse pénalisant de $0,015 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ est retenu. Cette valeur, citée dans la méthode FLUMILOG [2], correspond à la vitesse de combustion à l'état non divisé du polychlorure de vinyle (PVC). Ce matériau est utilisé dans la connectique et le câblage nécessaires aux modules photovoltaïques du site de Malleville-sur-le-Bec. Il est à noter que, sous l'action d'une source de chaleur (flamme par exemple), la gaine en PVC composant les câbles électriques est susceptible de libérer dans l'air des gaz très acides, en particulier de l'acide chlorhydrique (HCl) capable de se déposer sur les équipements et de ronger les métaux. Le PVC est un polymère thermoplastique qui se décompose dans une flamme mais il est autoextinguible¹. Le chlore contenu dans le PVC est un inhibiteur de flamme, ce qui permet au PVC d'avoir une bonne réaction au feu ;
- ✓ Sur la base des dimensions d'un module photovoltaïque, la hauteur de flamme calculée avec la formule de THOMAS est de 2 m. Cette valeur est supposée pénalisante pour des modules disposés sur support métallique comparativement à une hauteur de flamme identique mesurée dans le cadre d'essais feu réalisés par l'INERIS sur une table photovoltaïque en extérieur d'une surface de 6 m^2 disposée sur support bois [3].

¹Produit qui se consume en présence d'une source de chaleur ou d'une flamme, mais qui a la capacité de s'éteindre de lui-même lorsque le contact est rompu.

- ✓ Compte-tenu des dimensions d'un module photovoltaïque, une émittance moyenne de flammes de 120 kW/m² est retenue (corrélation de MUDAN) ;
- ✓ Les distances d'effet calculées pour un incendie développé sur un module seront reportées tout autour d'une table mais également tout autour du stockage de la plateforme photovoltaïque, soit une surface totale d'environ 76 205 m².

2.3 Distances d'effets thermiques

2.3.1 Aux limites de propriété pour une hauteur de cible humaine

2.3.1.1 Flux thermiques rayonnés au Nord et au Sud

La hauteur de flamme est égale à 2 m et sa largeur à 2 m (longueur d'un module photovoltaïque).

Pour une cible humaine de 1,8 m de hauteur, le tableau du flux thermique reçu en fonction de la distance est présenté en Annexe 2.1. Une synthèse de cette annexe figure sur le tableau ci-dessous (distances indiquées depuis le bord de la surface considérée en feu) :

Flux reçu	Distance
20 kW/m ²	2 m
16 kW/m ²	3 m
8 kW/m ²	4 m
5 kW/m ² (Z1)	5 m
3 kW/m ² (Z2)	7 m

Tableau 6 : distances d'effets thermiques indiquées depuis les bords de la surface considérée en feu, sur l'axe de la médiatrice - Directions Nord et Sud

Les limites de propriété Nord et Sud sont suffisamment éloignées de la zone considérée en feu pour que les flux thermiques réglementaires à 8, 5 et 3 kW/m² restent cantonnés au sein de la limite de propriété du site.

2.3.1.2 Flux thermiques rayonnés à l'Est et à l'Ouest

La hauteur de flamme est égale à 2 m et sa largeur à 1 m (largeur d'un module photovoltaïque).

Pour une cible humaine de 1,8 m de hauteur, le tableau du flux thermique reçu en fonction de la distance est présenté en Annexe 2.2. Une synthèse de cette annexe figure sur le tableau ci-dessous (distances indiquées depuis le bord de la surface considérée en feu) :

Flux reçu	Distance
20 kW/m ²	1 m
16 kW/m ²	2 m
8 kW/m ²	3 m
5 kW/m ² (Z1)	4 m
3 kW/m ² (Z2)	5 m

Tableau 7 : distances d'effets thermiques indiquées depuis les bords de la surface considérée en feu, sur l'axe de la médiatrice - Directions Est et Ouest

Les limites de propriété Est et Ouest sont suffisamment éloignées de la zone considérée en feu pour que les flux thermiques réglementaires à 8, 5 et 3 kW/m² restent cantonnés au sein de la limite de propriété du site.

2.4 Influence de la taille des panneaux sur les distances d'effets

Dans la présente étude, des panneaux photovoltaïques de dimensions 2 m x 1 m sont considérés. Les dimensions des panneaux sont susceptibles d'évoluer. Le tableau suivant permet d'évaluer l'impact de l'évolution des dimensions sur les distances aux seuils de flux thermiques réglementaires à 8, 5 et 3 kW/m².

Seuil de flux thermique	Panneau initial		Panneau n°1		Panneau n°2		Panneau n°3		Panneau n°4		Panneau n°5	
	L=2000 mm	l=1000 mm	L=2384 mm	l=1303 mm	L=2260 mm	l=1140 mm	L=2180 mm	l=1310 mm	L=2100 mm	l=1040 mm	L=1760 mm	l=1040 mm
8 kW/m ²	4 m	3 m	5 m	3 m	5 m	3 m	4 m	3 m	4 m	3 m	4 m	3 m
5 kW/m ²	5 m	4 m	6 m	4 m	6 m	4 m	6 m	4 m	6 m	4 m	5 m	4 m
3 kW/m ²	7 m	5 m	7 m	6 m	7 m	5 m	7 m	6 m	7 m	5 m	7 m	5 m

Tableau 8 : distances d'effets thermiques pour différentes dimensions de panneaux photovoltaïques

13/31

2.5 Ph1 - Synthèse

2.5.1 Tableau de synthèse

Le Tableau 9 récapitule les distances d'effets maximales dans chaque direction (distances indiquées depuis les bords de la surface considérée en feu, sur l'axe de la médiatrice de la façade considérée) pour une cible de 1,8 m :

Incendie de la plateforme photovoltaïque	Nord	Est	Sud	Ouest
D 8 kW/m ² (m) ²	4 m	3 m	4 m	3 m
D 5 kW/m ² (m)	5 m	4 m	5 m	4 m
D 3 kW/m ² (m)	7 m	5 m	7 m	5 m
Limite de propriété la plus proche (m)	17 m	87 m	24 m	> 200 m
Flux _{LP-Max} (kW/m ²)	NS	NS	NS	NS
Remarques	Cible 1 à 5 m F _{max} = 3 kW/m² Risque effets domino écarté			
	Cible 2 à 50 m F _{max} < 1 kW/m² Risque effets domino écarté			
	Cible 3 à 95 m F _{max} < 1 kW/m² Risque effets domino écarté			
	Cible 4 à 96 m F _{max} < 1 kW/m² Risque effets domino écarté			
	Cible 5 à 106 m F _{max} < 1 kW/m² Risque effets domino écarté			
	Cible 6 à 115 m F _{max} < 1 kW/m² Risque effets domino écarté			
	Cible 7 à 135 m F _{max} < 1 kW/m² Risque effets domino écarté			
	Cible 8 : Réseau biogaz implanté au sein de la zone considérée en feu (réseau aérien) F _{max} > 8 kW/m² Risque effets domino non écarté			

Tableau 9 : synthèse des distances d'effets maximales pour une cible de 1,8 m - distances indiquées sur l'axe de la médiatrice de la façade considérée

NOTA :

- Flux_{LP-Max} : Flux maximal atteint en limite de propriété concernée (kW/m²).
- NS : Non significatif / Pas de limite de propriété à proximité.
- NA : Non atteint

² Les valeurs de référence considérées pour apprécier les conséquences du rayonnement thermique induit en cas d'incendie sont précisées en Annexe 1.

2.5.2 Tracé des flux thermiques

La Figure 7 présente la cartographie des distances d'effets thermiques réglementaires autour de la zone considérée en feu.

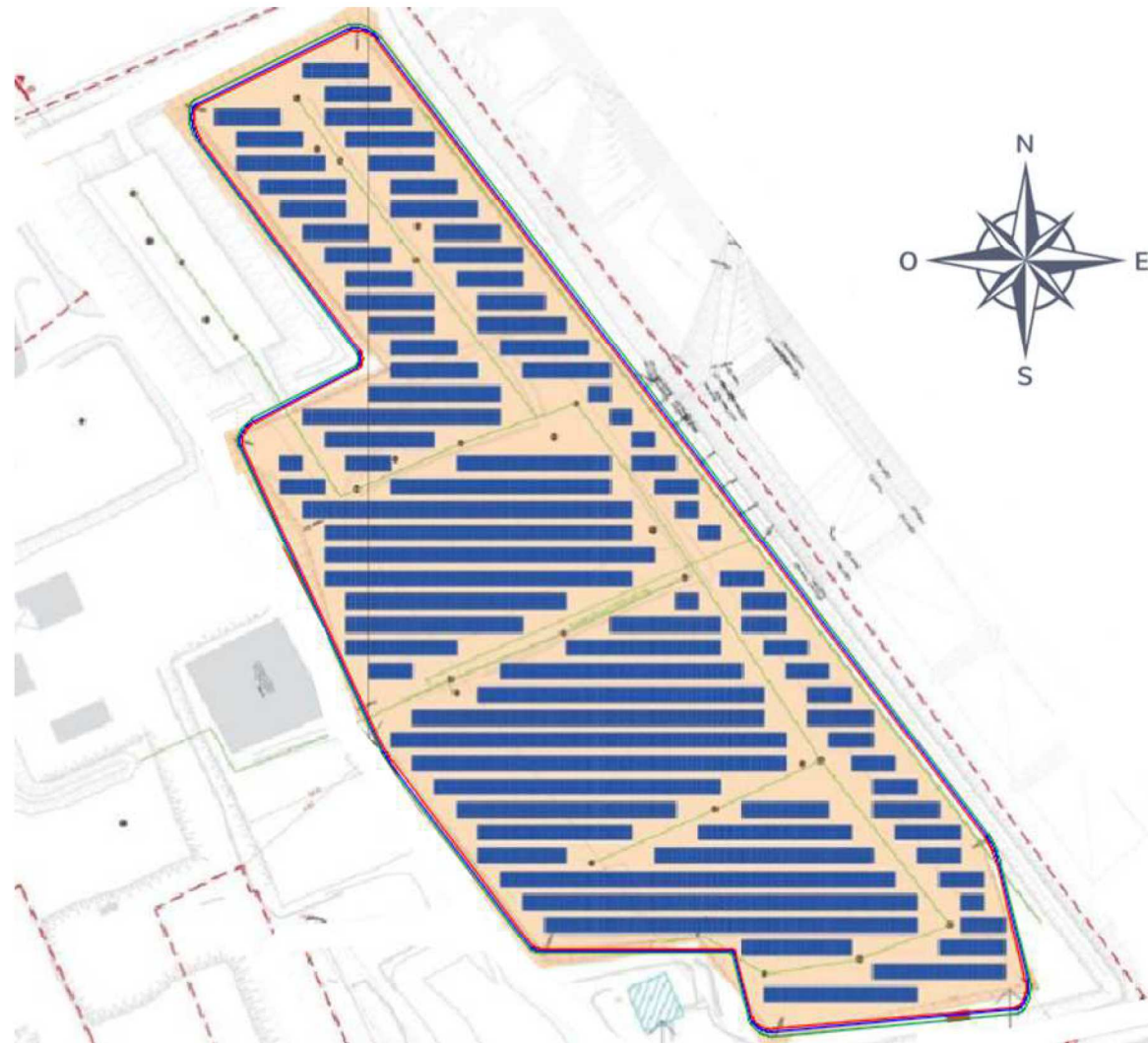


Figure 7 : Ph1 - effets thermiques générés par l'incendie des modules photovoltaïques

En rouge flux thermique à 8 kW/m² : seuils des effets létaux significatifs correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine / seuil des effets domino correspondant au seuil des dégâts graves sur les structures

En bleu flux thermique à 5 kW/m² : seuil des premiers effets létaux correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine

En vert flux thermique à 3 kW/m² : seuil des effets irréversibles correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine

La Figure 8 présente la cartographie des distances d'effets thermiques réglementaires autour d'une table photovoltaïque implantée en partie Sud-Est de la plateforme.

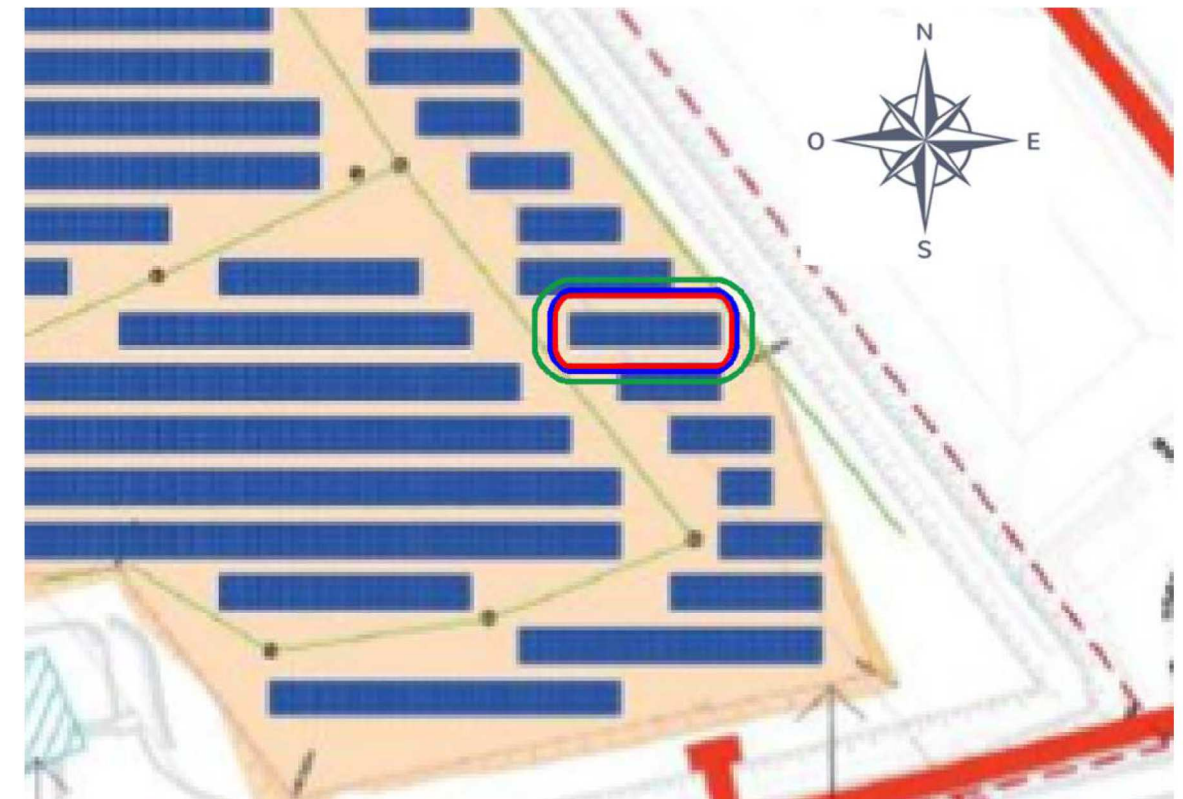


Figure 8 : Ph1 - effets thermiques générés par l'incendie d'une table photovoltaïque implantée en partie Sud-Est de la plateforme.

En rouge flux thermique à 8 kW/m² : seuils des effets létaux significatifs correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine / seuil des effets domino correspondant au seuil des dégâts graves sur les structures

En bleu flux thermique à 5 kW/m² : seuil des premiers effets létaux correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine

En vert flux thermique à 3 kW/m² : seuil des effets irréversibles correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine

2.5.3 Ph1 – Conclusion

Le tableau précédent ainsi que le tracé des zones d'effets des flux thermiques réglementaires générés par un incendie se développant au niveau de la plateforme photovoltaïque, à partir d'un module photovoltaïque, montrent que :

- Les limites de propriété sont suffisamment éloignées de la zone d'implantation des modules photovoltaïques pour que les effets thermiques réglementaires à 8, 5 et 3 kW/m² restent cantonnés au sein du site ;
- Le flux à 8 kW/m² est localisé à 4 m au plus de la zone considérée en feu à un instant *t*. Cette distance correspond à peu près à la distance inter-table (4,28 m). Il est rappelé ici que le flux à 8 kW/m² correspond au seuil à partir duquel un risque de propagation par rayonnement thermique doit être étudié. Une valeur de 12 kW/m² est retenue dans le cadre d'une propagation de feu improbable sans mesure de refroidissement suffisante dans le Guide technique relatif aux valeurs de référence de seuils d'effets des phénomènes accidentels, octobre 2004 [4]. De ce fait, compte-tenu de la faible charge calorifique présente au niveau des panneaux, de la bonne réaction au feu des câbles en PVC, l'hypothèse d'une propagation du feu entre tables de modules photovoltaïques apparaît ici comme extrêmement peu probable ;
- A l'exception du réseau biogaz, l'ensemble des cibles de l'étude reçoit des flux thermiques faibles et largement inférieurs à 8 kW/m² : le risque d'effet domino sur ces cibles est donc écarté ;
- Le réseau biogaz, aérien et localisé à 0.5 m du sol, entre les tables photovoltaïques reçoit un flux thermique supérieur à 8 kW/m². En l'état, le risque d'effet domino ne peut être écarté sur cette installation.
-

Groupe CNPP
DFE
Service Ingénierie de Sécurité Incendie
Chef de service
Stéphanie MAETZ
Signature électronique

3 BIBLIOGRAPHIE

- [1] N.-7. c. 1. U.S.NRC, Cable Heat Release, Ignition, and Spread in Tray Installations During Fire (CHRISTIFIRE) Phase 1: Horizontal Trays, July 2012.
- [2] Flumilog, Description de la méthode de calcul des effets thermiques produits par un feu d'entrepôt. 2011. Rapport final. DRA-09-90977-14553A Version 2.
- [3] C. INERIS, Prévention des Risques associés à l'implantation de cellules photovoltaïques sur des bâtiments industriels ou destinés à des particuliers, 08/12/2010.
- [4] MEDD, «Guide technique relatif aux valeurs de référence des seuils d'effets des phénomènes accidentels des installations classées,» 2004.
- [5] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Third Edition, National Fire Protection Association (Quincy, Massachusetts), Society of fire Protection Engineers (Bethesda, Maryland).
- [6] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Fire Hazard Calculations for Large, Open Hydrocarbon Fires, Graig L. Beyler, Hughes Associates, Fire Science and Engineering.
- [7] Committee for the Prevention of Disasters, Yellow Book - Methods for the Calculation of Physical effects, Publication Sdu, Third edition 1997.
- [8] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Heat Release Rates, Vytenis Babrauskas, Fire Science and Technology, Inc.
- [9] 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 des flux thermiques rayonnés

4.1.1.1 Principe de modélisation

4.1.1.1.1 Scénario incendie

Les rayons de danger associés aux effets de flux thermiques sont alors déterminés dans le cadre d'un scénario incendie maximaliste :

- ✓ Les moyens actifs de protection incendie (sprinkler par ex.) sont considérés en situation d'échec. Les interventions du personnel ainsi que les moyens de secours sont également négligés ;
- ✓ L'incendie a atteint son paroxysme (embrasement généralisé des combustibles).

L'objectif des modélisations est de calculer les distances où sont atteints les seuils réglementaires de flux thermiques rayonnés à 20, 16, 8, 5 et 3 kW/m².

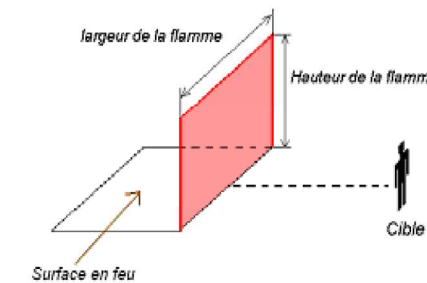
Pour les entrepôts, le scénario maximaliste correspond à la destruction quasi-totale par les flammes du bâtiment. Dans le cas des entrepôts à plusieurs cellules compartimentées par des murs coupe-feu, le dimensionnement est généralement réalisé pour une seule cellule en feu. La protection passive constituée par les murs coupe-feu qui isolent les cellules entre-elles est considérée suffisante pour éviter la propagation de l'incendie. Il appartient néanmoins à l'exploitant de garantir qu'une éventuelle porte coupe-feu entre deux cellules soit à même de se fermer correctement en cas d'incendie. Le scénario d'incendie généralisé à plusieurs ou à la totalité des cellules d'un entrepôt peut aussi être étudié, même s'il est moins probable.

Pour les feux d'hydrocarbures ou de liquides inflammables, le scénario maximaliste consiste généralement en un feu de flaque sur la surface de la cuvette de rétention.

Les méthodes de calcul utilisées par le CNPP sont documentées dans le SFPE Handbook of Fire Protection Engineering [5]. La méthode de calcul a été développée par Mudan [6] ; elle constitue une synthèse des différents travaux expérimentaux et de modélisation sur des grands feux d'hydrocarbure.

4.1.1.1.2 Equation de base

Les flammes qui s'élèvent de la structure effondrée sont caractérisées par une hauteur et une largeur globale. La flamme est donc modélisée comme une surface rectangulaire plane qui rayonne une certaine puissance thermique devant elle – il s'agit du flux thermique rayonné. Le flux thermique est ensuite calculé pour une cible se déplaçant devant la flamme, comme explicité sur le schéma suivant.



Le flux thermique reçu par une cible située en dehors de l'enveloppe des flammes est déterminé selon l'équation suivante :

$$\dot{q}'' = E \cdot F_{12} \cdot \tau$$

- | | | |
|-----------------|---|--|
| E | : | Puissance émissive moyenne à la surface de la flamme (kW/m ²). |
| F ₁₂ | : | Facteur de forme. |
| τ | : | Transmissivité atmosphérique. |

Cette équation est utilisée en supposant que la surface de flamme forme un rectangle devant la cible³. La largeur de flamme représente la largeur de la façade en feu.

4.1.1.1.3 Hauteur de flamme

Le calcul de la hauteur de flamme est basé sur une corrélation développée par Thomas. La hauteur moyenne des flammes de diffusion turbulentes (visibles) est donnée par la relation suivante :

$$\frac{H}{D} = 42 \cdot \left(\frac{m''_{\infty}}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot D}} \right)^{0,61}$$

- | | | |
|------------------|---|---|
| H | : | Hauteur de flamme de Thomas (m) |
| D | : | Diamètre équivalent pour la surface en feu (m) |
| m'' _∞ | : | Taux de pyrolyse par unité de surface en feu (kg/m ² .s) |
| ρ _a | : | Masse volumique de l'air ambiant (kg/m ³) |
| g | : | Accélération gravitationnelle 9,8 m/s ² |

En présence de vent, la flamme est rabattue vers le sol. Ce phénomène n'est pas pris en compte ici.

Le taux de pyrolyse d'un matériau représente sa « vitesse de combustion ». Il exprime la perte de masse de combustible par unité de temps et de surface.

³ Différentes modélisations sont envisageables (flamme pyramidale, cylindrique, conique, etc.). Une configuration rectangulaire simple est retenue.

Le calcul de la hauteur de flamme dépend donc de :

- ✓ La vitesse de combustion,
- ✓ Du diamètre équivalent du foyer. Le diamètre équivalent est proportionnel au rapport de la surface sur le périmètre de la zone en feu. A surface égale, la hauteur de flamme est maximale pour une surface de feu circulaire.

4.1.1.1.4 Facteur de forme

Le facteur de forme est calculé pour une cible située devant la flamme, quelle que soit sa hauteur par rapport au sol. Le facteur de forme maximum au niveau d'une cible est donné par la somme vectorielle des contributions verticales et horizontales.

$$F_{12,max} = \sqrt{F_{12,H}^2 + F_{12,V}^2}$$

Les expressions élémentaires du facteur de forme sont calculées à l'aide de corrélations géométriques.

4.1.1.1.5 Absorption atmosphérique

Le rayonnement émis est partiellement atténué par absorption et diffusion le long du trajet optique. Les principaux constituants atmosphériques qui sont susceptibles d'absorber le rayonnement sont la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone. La proportion de CO₂ est à peu près constante à environ 380 ppm. La proportion de vapeur d'eau varie fortement en fonction de la température et de l'humidité.

Une formule simple, proposée par Bagster et citée dans le Yellow Book du TNO [7] permet de calculer directement la transmissivité :

$$\tau = 2,02(p_w' \cdot x)^{-0,09}$$

- p_w' : Pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air (Pa)
 x : Distance entre la surface émissive et la cible (m)

Pour les calculs d'atténuation, on retient généralement une température de 15 °C et une humidité relative de 70 %.

4.1.1.2 Données d'entrée

4.1.1.2.1 Taux de pyrolyse

Le taux de pyrolyse (\dot{m}'') représente une perte de masse de combustible par unité de temps et de surface sous l'effet du feu (la pyrolyse des matériaux dégage les gaz combustibles).

Les taux de pyrolyse des liquides inflammables sont bien connus ; généralement ils augmentent progressivement avec le diamètre équivalent du foyer jusqu'à une valeur maximale stabilisée :

$$\dot{m}'' = \dot{m}''_{\infty} (1 - e^{-k \cdot \beta \cdot D})$$

- \dot{m}'' : Taux de pyrolyse (kg/m².s)
 \dot{m}''_{∞} : Taux de pyrolyse infini (kg/m².s)
 D : Diamètre équivalent du foyer (m)
 $k \cdot \beta$: Coefficient d'extinction (m⁻¹)

Le tableau suivant présente quelques exemples de taux de pyrolyse pour des liquides inflammables [8] :

Liquides inflammables	\dot{m}''_{∞}
Gaz liquéfiés	
GNL	0.078
GPL	0.099
Alcool	
Ethanol	0.029
Methanol	0.029
Combustibles organiques simples	
Butane	0.078
Benzene	0.085
Hexane	0.074
Heptane	0.101
Xylenes	0.090
Acetone	0.041
Dioxane	0.018
Diethyl ether	0.085
Produits pétroliers	
Essence	0.048
Gasoil	0.055
Kérosène	0.039
JP-4	0.051
JP-5	0.054
Huile	0.039
Fuel lourd	0.035
Pétrole brut	0.022

4.1.1.2.2 Puissance émissive ou émittance de flamme

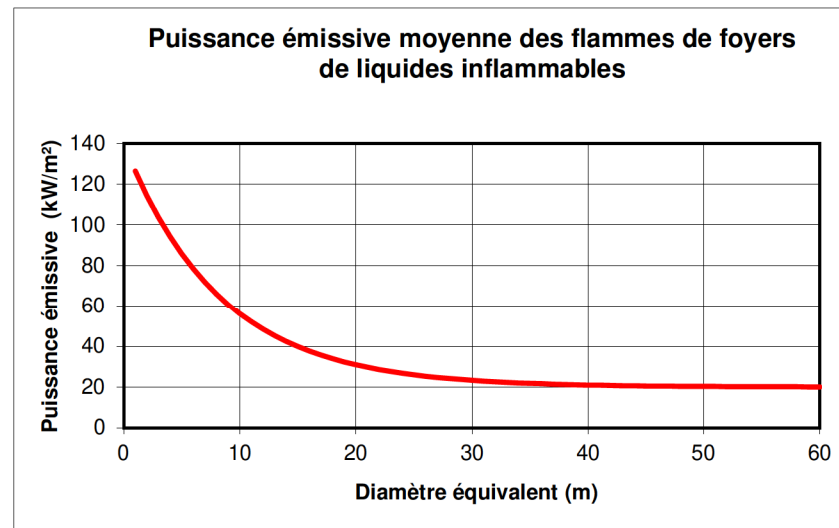
Le rayonnement émis par une flamme dépend d'une part de ses dimensions (sa hauteur et sa largeur), d'autre part de sa puissance émissive encore appelée émittance.

La puissance émissive correspond à la quantité de puissance rayonnée par unité de surface de la flamme. Elle s'exprime en kW/m².

Elle est donnée par la corrélation suivante dite corrélation de Mudan :

$$E = E_{\max} e^{-s \cdot D} + E_s (1 - e^{-s \cdot D})$$

E_{\max}	:	Puissance émissive d'un corps noir dans la flamme, 140 kW/m ² (1000 °C)
s	:	Coefficient d'extinction, 0.12 m ⁻¹
D	:	Diamètre équivalent (m)
E_s	:	Puissance émissive des fumées noires, 20 kW/m ² (500 °C)



La puissance émissive moyennée sur la totalité de la hauteur de flamme est moins forte que les puissances émissives pouvant être atteintes localement. De plus, la puissance émissive moyenne diminue lorsque le diamètre du feu augmente à cause de la prééminence progressive des fumées noires hors de la flamme qui obscurcissent le rayonnement provenant des zones de combustion vive.

Quatre zones distinctes sont modélisées sur la partie visible de la flamme (au-dessus de l'écran masquant éventuellement la flamme dans sa partie basse) :

- ✓ Une zone claire, brillante et émissive au bas de la flamme,
- ✓ Une zone intermédiaire,
- ✓ Une zone particulièrement masquée par les suies,
- ✓ Une zone de fumées en partie haute, dans laquelle on observe périodiquement des « bouffées de flammes ».



- Zone de bouffées : puissance émissive de 5 à 10 kW/m²
- Zone partiellement masquée par les suies 10 à 20 kW/m²
- Zone intermédiaire 20 à 35 kW/m²
- Zone claire 35 à 45 kW/m², voire plus

Les zones claires correspondent à des températures affleurant les 800°C à 1000°C, alors que les zones noires témoignent de la présence de suies à une température inférieure à 600°C.

4.1.1.3 Particularités des incendies de bâtiments

4.1.1.3.1 Taux de pyrolyse des combustibles solides

Contrairement aux liquides, la combustion des solides (sauf pour le cas particulier des solides liquéfiables : polyéthylène, polypropylène, polystyrène, etc.) est réalisée par pyrolyse sur toutes les surfaces en feu du volume. La notion de taux de pyrolyse surfacique n'est donc pas directement adaptée pour les solides : la densité et la hauteur de stockage interviennent aussi pour fixer une puissance surfacique.

Pour les solides liquéfiables, des mesures de taux de pyrolyse ont été réalisées de la même façon que pour les feux de nappes d'hydrocarbures. Pour le polyméthylméthacrylate (PMMA), le polyéthylène et le polypropylène, le taux de pyrolyse \dot{m}'' est environ 0,02 à 0,04 kg/m².s.

En ce qui concerne les combustibles solides, on caractérise leur combustion par une puissance (kW) ou débit calorifique, qui est mesurable uniquement à l'aide d'une hotte calorimétrique⁴.

Le débit calorifique Q (kW) s'exprime comme suit :

$$Q = h_c \cdot \dot{m}$$

h_c	:	Chaleur de combustion efficace (kJ/kg)
\dot{m}	:	Vitesse de perte de masse (kg/s)

⁴ Moyens expérimentaux disponibles au Laboratoire du Feu et de l'Environnement du CNPP.

Pour une combustion complète, la chaleur de combustion efficace est égale au pouvoir calorifique inférieur (PCI) d'un matériau. Cependant dans un incendie, la combustion est incomplète et les fumées transportent des gaz et aérosols encore combustibles : CO, imbrûlés organiques, suies, etc. Un coefficient de rendement de combustion est donc utilisé.

La chaleur de combustion efficace et la vitesse de perte de masse ne sont en général pas constantes au cours d'une combustion. La mesure directe du débit calorifique est donc nécessaire. Elle n'est cependant pas toujours possible, notamment pour les très grands feux ou les feux de bâtiment. C'est l'une des raisons pour lesquelles peu de données expérimentales ont été publiées à ce jour pour les grands feux de bâtiments ou d'entrepôts.

Pour les feux de solides, l'appréciation de la hauteur de flamme est réalisée :

- ✓ Soit en estimant le débit calorifique (par expérimentation ou à partir de données publiées dans la littérature, ex : stockage de palettes de bois).
- ✓ Soit par analogie avec les solides liquéfiables. On retient alors un taux de pyrolyse, généralement compris entre 0,01 et 0,03 kg/m².s et on applique la corrélation de Thomas pour le calcul de la hauteur de flamme.

Cette dernière méthode est généralement retenue pour les incendies de bâtiments ou d'entrepôts, en l'absence de données expérimentales.

La hauteur du combustible en feu n'est pas prise en compte. Cependant une nappe de plastique en feu sur la surface d'un bâtiment est considérée comme pénalisante par rapport à la plupart des chargements de combustibles habituels dans les entrepôts. On note par ailleurs que lors de la phase d'incendie généralisé, les stockages de grande hauteur sont susceptibles de s'effondrer, soit sous l'effet de leur propre poids (cas des palettiers), soit suite à l'effondrement de la toiture du bâtiment.

4.1.1.3.2 Ventilation du foyer

Par rapport à un feu en extérieur (solide ou liquide), un incendie de bâtiment est généralement fortement sous ventilé. La puissance du foyer dépend alors essentiellement des conditions aérauliques pour l'apport d'air frais et l'évacuation des fumées, plus ou moins indépendamment de la nature et de la quantité de combustibles en feu.

La ventilation d'un incendie d'entrepôt dépend essentiellement des dispositions constructives du bâtiment.

- ✓ Par exemple, une toiture en fibrociment est rapidement détruite au contact des flammes. Dans un tel bâtiment, un incendie n'est donc pas confiné par la toiture, l'alimentation en air frais et surtout l'évacuation des fumées s'en trouvent immédiatement facilitées.
- ✓ De même, dans un bâtiment ceinturé de murs coupe-feu, seule la couverture pourra s'abîmer, et contribuer à la ventilation du foyer. L'oxygénation optimale d'un foyer est réalisée avec une alimentation en air frais située en partie basse. De telles dispositions constructives sont par conséquent peu favorables à un foyer de forte intensité, indépendamment du type de combustible.

Afin de faire tendre la hauteur de flamme calculée par la méthode de Thomas vers des

valeurs réalistes constatées lors d'incendies, le CNPP a établi une corrélation basée sur des considérations aérauliques. Ainsi selon les dispositions constructives de l'entrepôt, l'aération du foyer se réalise plus ou moins bien. Ce phénomène est l'une des causes principales de la diminution constatée de la hauteur de flamme par rapport aux valeurs attendues par les corrélations théoriques.

Dans ce tableau, les dispositions constructives sont classées suivant leur conséquence sur la hauteur de flamme :

Murs	Toiture	Facteur d'ajustement
Coupe-feu	Pare flamme	35 % à 45 %
	Bacs acier avec isolation	
	Bacs acier	
Bardage double peau avec isolation	Bacs acier avec isolation	25 % à 35 %
	Bacs acier	
	Fibrociment	
Bardage simple	Bacs acier	15 % à 25 %
	Fibrociment	

4.1.1.3.3 Interactions entre le bâtiment et les flammes

Les dispositions constructives du bâtiment interviennent tout d'abord sur la ventilation du foyer. Elles peuvent aussi contribuer à masquer les flammes sur une partie de leur hauteur. C'est notamment le cas des murs stables au feu (pare-flamme ou coupe-feu) installés en périphérie et dans une moindre mesure des parois en bardage effondrées.

Parois stables au feu

Les murs réputés coupe-feu (conformément à l'arrêté du 22 mars 2004) sont considérés comme faisant office d'écran au rayonnement thermique sur toute leur hauteur, pendant la durée de l'incendie.

Parois en bardage

Suite à de nombreuses expertises après sinistres, CNPP a été amené à prendre en compte le bardage résiduel qui perdure après l'effondrement des entrepôts (dont les murs sont en bardages). En effet un bardage n'est jamais ruiné dans sa totalité, tant dans sa hauteur que dans sa longueur.

Dans le souci de réaliser des modélisations vraisemblables, ce phénomène est pris en compte en incluant un écran au rayonnement d'une hauteur généralement égale à un quart de la hauteur initiale du bâtiment pour un bardage simple peau et un tiers de la hauteur initiale pour un bardage double peau, sur toute la longueur de la flamme.

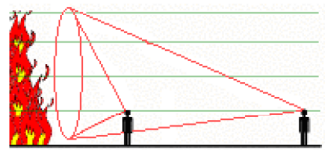


Vue de l'extérieur d'un entrepôt de lait en poudre.
(Structure métallique)
L'effondrement des bardages n'est pas total.

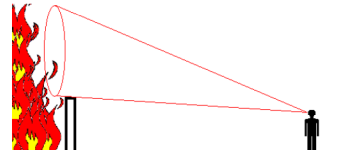
Facteur de forme

L'expression du facteur de forme tient compte :

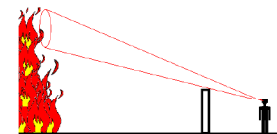
- ✓ De la présence éventuelle d'un écran en partie basse de la flamme (cas des parois stables au feu ou en bardage partiellement effondré).
- ✓ De la présence éventuelle d'un écran lointain, protégeant la cible par effet d'ombre. C'est notamment le cas des murs ou merlons arborisés installés en limite de propriété.



Facteur de forme en fonction de l'éloignement de la cible.



Ecran proche de la flamme. Efficacité de l'écran assez faible.



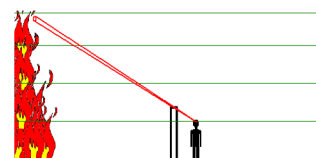
Ecran lointain (par exemple en limite de propriété). Bonne efficacité de l'écran.

Pour une cible qui n'est pas protégée par un écran, le flux reçu diminue quand la distance augmente.

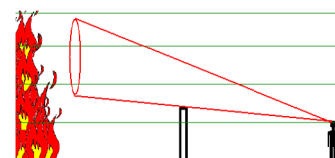
Pour une cible protégée par un écran, le flux reçu dépend de sa position par rapport à l'écran :

- ✓ L'angle de vue sous lequel la cible voit le feu est faible à proximité de l'écran.
- ✓ En s'éloignant de l'écran, la cible reçoit un flux thermique plus important qui atteint un maximum avant de décroître.

En effet, l'éloignement de la cible par rapport à la source du rayonnement compense les effets liés à la position de l'écran.



Cible proche de l'écran



Cible loin de l'écran

On retient en général une hauteur de cible de 1,8 m correspondant à la hauteur de la tête d'un homme.

4.1.1.4 Effets du rayonnement thermique

Les effets du rayonnement dépendent de la valeur du flux reçu, comme le montre le tableau suivant (pour une exposition sur une durée significative) :

Flux reçu (kW/m ²)	Effets du rayonnement thermique
0,7	Coup de soleil pour une exposition de très longue durée sans protection ni préparation.
1	Rayonnement solaire en zone tropicale.
1,5	Seuil maximum en continu pour des personnes non protégées.
2	Douleur en 1 minute. Exposition de 40 à 140 secondes, avec un temps moyen de 100 secondes, rougissement de la peau.
2,5	Les personnes normalement habillées, sans fragilités particulières, peuvent s'exposer plusieurs minutes en bougeant.
3	Exposition de 1 minute, début d'apparition de cloques sur les peaux très sensibles.
5	Cloques possibles pour des expositions de 20 à 90 secondes.
10	Douleur en 5 à 10 secondes. Brûlures du 2 ^{ème} degré en 40 secondes. Pour une exposition de 50 secondes, 1 % de décès.
15	Pyrolyse de certains matériaux et début d'émission de vapeurs inflammables qui peuvent s'enflammer selon les circonstances (contacts de flammèches, brandons enflammés).
20	Tenue du béton plusieurs heures. La température atteint 100°C à 3 cm dans le béton en 45 minutes. Inflammation possible de certains plastiques.
25	Inflammation possible de certains bois secs.
30	Conditions de l'essai de réaction au feu (classement M), en présence d'une flamme pilote.
50	Brûlures immédiates et 1 % de décès après une exposition de 10 secondes.
100	La température atteint 100°C à 10 cm dans le béton en 3 heures.

Les valeurs de référence pour les installations classées sont les suivantes [9] :

- ✓ Effets sur les structures :
 - 5 kW/m², seuil des destructions de vitres significatives.
 - 8 kW/m², seuil des effets domino et correspondant au seuil des dégâts graves sur les structures.
 - 16 kW/m², seuil d'exposition prolongée des structures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures, hors structures béton.
 - 20 kW/m², seuil de tenue du béton plusieurs heures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures béton.
 - 200 kW/m², seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes.

- ✓ Effets sur l'homme :
 - 3 kW/m², seuil des effets irréversibles correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine.
 - 5 kW/m², seuil des premiers effets létaux correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine.
 - 8 kW/m², seuil des effets létaux significatifs correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine.

4.2 Annexe 2 : résultats de calculs

Les distances indiquées sont comptées à partir des bords de la zone d'implantation des tables photovoltaïques.

Annexe n° 2.1		
Ph1- Incendie Installation Photovoltaïque - Site de Malleville-sur-le-Bec		
Flux thermique rayonné en direction Nord (médiatrice façade)		
Hauteur de flamme (m) :	✓ 2,0	
Largeur de flamme (m) :	✓ 2,0	
Hauteur de la cible (m) :	✓ 1,8	
Hauteur de l'écran en partie basse de la flamme (m) :	0,0	
	Distance flamme-cible (m)	Flux reçu (kW/m ²)
	✓ 1	37,1
	✓ 1,5	28,7
D 20 kW/m ²	✓ 2	21,7
	✓ 2,5	16,2
D 16 kW/m ²	✓ 3	12,4
	✓ 3,5	9,6
D 8 kW/m ²	✓ 4	7,6
	✓ 4,5	6,2
D 5 kW/m ²	✓ 5	5,1
	✓ 5,5	4,3
	✓ 6	3,6
	✓ 6,5	3,1
D 3 kW/m ²	✓ 7	2,7
	✓ 7,5	2,3
	✓ 8	2,1
	✓ 8,5	1,8
	✓ 9	1,6
	✓ 9,5	1,5
	✓ 10	1,3
	✓ 10,5	1,2
	✓ 11	1,1
	✓ 11,5	1,0
	✓ 12	0,9
	✓ 12,5	0,8
	✓ 13	0,8
	✓ 13,5	0,7

Annexe n° 2.2		
Ph1- Incendie Installation Photovoltaïque - Site de Malleville-sur-le-Bec		
Flux thermique rayonné en direction Est (médiatrice façade)		
Hauteur de flamme (m) :	2,0	
Largeur de flamme (m) :	1,0	
Hauteur de la cible (m) :	1,8	
Hauteur de l'écran en partie basse de la flamme (m) :	0,0	
	Distance flamme-cible	Flux reçu
	(m)	(kW/m ²)
D 20 kW/m ²	1	22,7
	1,5	16,2
D 16 kW/m ²	2	11,8
	2,5	8,6
D 8 kW/m ²	3	6,5
	3,5	5,0
D 5 kW/m ²	4	3,9
	4,5	3,2
D 3 kW/m ²	5	2,6
	5,5	2,2
	6	1,8
	6,5	1,6
	7	1,3
	7,5	1,2
	8	1,0
	8,5	0,9
	9	0,8
	9,5	0,7
	10	0,7
	10,5	0,6
	11	0,5
	11,5	0,5
	12	0,5
	12,5	0,4
	13	0,4
	13,5	0,4

Référence : REP-122020-061-05



SDOMODE- CETRAVAL Malleville-sur-le-Bec Étude de zonage ATEX installation biogaz

Pour :



Date : 29/12/2020

Rédacteur : Japhet Telassamou et Claire Thévenet

Vérificateur : Claire Thévenet

Approbateur : Arnaud Vautier

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05 REVISION : 01	

Feuille de révision

Rev	Description de la révision	Date	Détails des modifications
00	Version initiale	23/12/2020	
01	Prise en compte des commentaires	29/12/2020	

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05	
		REVISION : 01	

Sommaire

Table des matières

1	Introduction	5
2	Abréviations	5
3	Documents de référence	6
3.1	Réglementations.....	6
3.2	Normes et standard.....	6
3.3	Guides techniques	6
4	Description des activités	8
4.1	Description générale.....	8
4.2	Description simplifiée de fonctionnement de l'installation	9
5	Méthodologie.....	11
6	Identification des sources de dégagement.....	11
6.1	Identification des substances mise en œuvre	11
6.2	Sources de dégagement associées aux activités	12
6.2.1	Casiers de stockage	12
6.2.2	Réseau de dégazage	13
6.2.3	Unités de valorisation énergétique	13
6.2.4	Torchères.....	14
6.3	Synthèse des sources de dégagement	17
7	Caractérisation des zones	18
7.1	Critères de classement	18
7.2	Classement des zones dangereuses	18
8	Mesures de prévention et de protection.....	21
8.1	Généralités.....	21
8.2	Prévention par action sur les sources d'inflammation.....	21
8.3	Recommandations.....	22

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05	
		REVISION : 01	

8.4	Mesures organisationnelles générales.....	22
9	Conclusion	24
	ANNEXE 1 : Définitions.....	25
	ANNEXE 2 : Cartographie des zones ATEX.....	30
	ANNEXE 3 : Aide au marquage du matériel ATEX.....	31

Liste des tableaux

Tableau 1 :	Caractéristiques physico-chimiques des produits inflammables	12
Tableau 2 :	Sources de dégagement identifiées au sein de l'installation	17
Tableau 3 :	Classement des zones dangereuses.....	20
Tableau 4 :	Sources d'inflammation potentielles et préconisations	21
Tableau 5 :	Recommandations associées aux sources potentielles d'ATEX.....	22
Tableau 6 :	Type de zone en fonction du degré de dégagement et des caractéristiques de ventilation (extrait de la norme NF EN 60079-10-1)	29

Liste des figures

Figure 1 :	Vue aérienne du site.....	9
Figure 2 :	Schéma des activités du site.....	10
Figure 3 :	Schéma des installations de cogénération	10
Figure 4 :	Exemples d'équipements annexes aux torchères	15

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05	
		REVISION : 01	

1 Introduction



Dans le cadre de la mise en place de panneaux photovoltaïques sur son site CETRAVAL de Malleville-sur-le-Bec, le SDOMODE souhaite établir une étude de zonage ATEX relative à ses installations mettant en œuvre du biogaz.

L'objectif de ce rapport est la détermination de l'étendue des zones ATEX potentiellement formées dans le cadre des activités exercées au CETRAVAL ainsi que de formuler des préconisations de mesures techniques et organisationnelles à mettre en place pour la maîtrise de ces risques.

Seules les installations mettant en œuvre du biogaz sont traitées dans la suite du rapport.

2 Abréviations

ATEX	ATmosphère EXplosive
DRPE /DRPCE	Document Relatif à la Protection Contre les Explosions
LIE	Limite Inférieure d'Explosivité
LSE	Limite Supérieure d'Explosivité

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05	
		REVISION : 01	

3 Documents de référence

3.1 Réglementations

Les directives européennes sur lesquelles est basée la réglementation française concernant les atmosphères explosives figurent dans la liste ci-après :

- ✎ Directive 1999/92/CE du 16 décembre 1999 visant à améliorer la protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphère explosive transposée dans la réglementation française par les textes suivants :
 - Article R. 4216-31 du Code du travail relatif à la prévention des explosions ;
 - Articles R. 4227-42 à R. 4227-54 du Code du travail relatifs à la prévention des explosions ;
 - Arrêté du 8 juillet 2003 relatif à la signalisation de sécurité et de santé au travail ;
 - Arrêté du 8 juillet 2003 relatif à la protection des travailleurs susceptibles d'être exposés à une atmosphère explosive ;
 - Arrêté du 28 juillet 2003 relatif aux conditions d'installation des matériels électriques dans les emplacements où des atmosphères explosives peuvent se présenter.
- ✎ Directive 2014/34/UE du 26 février 2014 relative aux appareils et systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphère explosive.

3.2 Normes et standard

Les normes de référence relatives aux atmosphères explosives sont :

- ✎ Norme EN 60079-10-1 : atmosphères explosives Partie 10-1 : classement des emplacements - Atmosphères explosives gazeuses – Mai 2016 [Réf. 1];
- ✎ Norme EN 60079-10-2 atmosphères explosives Partie 10-2 : classement des emplacements - Atmosphères explosives poussiéreuses – Mai 2015 ;
- ✎ Norme NF EN 61241-10 : matériels électriques pour utilisation en présence de poussières combustibles ;
- ✎ API 505 : Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Zone 0, Zone 1, and Zone 2 – 2013 [Réf. 2];
- ✎ NFPA497 :Recommended Practice for the Classification of Flammable Liquids, Gases, or Vapors and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas -2017 [Réf. 3].

3.3 Guides techniques

Les guides techniques utilisés dans le cadre de cette étude sont :

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05	
		REVISION : 01	

- 📌 Guide méthodologique pour la mise en œuvre de la réglementation relative aux atmosphères explosives (ATEX), ED 945 – Août 2011 ;
- 📌 Les mélanges explosifs 1. Gaz et vapeurs, INRS ED 911 – 2004 ;
- 📌 Les mélanges explosifs 2. Poussières combustibles, INRS ED 944 – Septembre 2006 ;
- 📌 Guides GESIP :
 - Guide pour la détermination des zones à risque d'explosion 0,1 et 2 dans les industries pétrolières et pétrochimiques Rapport 2004/01 (Edition 01/10/204) [Réf. 4];
- 📌 Guide méthanisation : Règles de sécurité des installations de méthanisation agricole par l'INERIS [Réf. 5];

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05	
		REVISION : 01	

4 Description des activités

4.1 Description générale

Le SDOMODE est en charge de l'exploitation du CETRAVAL de Malleville-sur-le-Bec sur lequel est exploité une installation de stockage de déchets non dangereux et de déchets inertes avec installation de valorisation du biogaz issu de la décomposition des déchets fermentescibles.

Cette installation permet la production d'électricité qui est réinjectée sur le réseau d'électricité.

La fermentation des déchets engendre la production :

- 📌 De Biogaz : capté par des puits de captage et collecté via un réseau aérien pour être acheminé vers l'installation de valorisation ou les torchères ;
- 📌 De lixiviat : Collecté puis envoyé via un réseau vers un bassin pour être traité.

La collecte du biogaz et des lixiviats est réalisée via des réseaux séparés.

Le biogaz est d'abord purifié dans un filtre à charbon actif puis utilisé comme combustible dans 2 moteurs à combustion (cogénération) qui servent à la production de l'électricité et de chaleur.

La torchère est utilisée pour brûler le biogaz à 1 000°C en cas d'arrêt technique de l'unité de valorisation énergétique.

Trois torchères sont présentes sur le site, seules deux sont fonctionnelles. Ces torchères sont utilisées en secours, chaque torchère est équipée en amont de son propre dévésiculateur et surpresseur.

Nous nous intéresserons ici aux activités mettant en jeu le biogaz uniquement soit (cf. Figure 1) :

- 📌 Les alvéoles de stockage de déchets ;
- 📌 Le réseau de récupération biogaz et lixiviats;
- 📌 La valorisation du biogaz via les moteurs de cogénération ;
- 📌 Le « traitement » via les torchères.

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05	
		REVISION : 01	

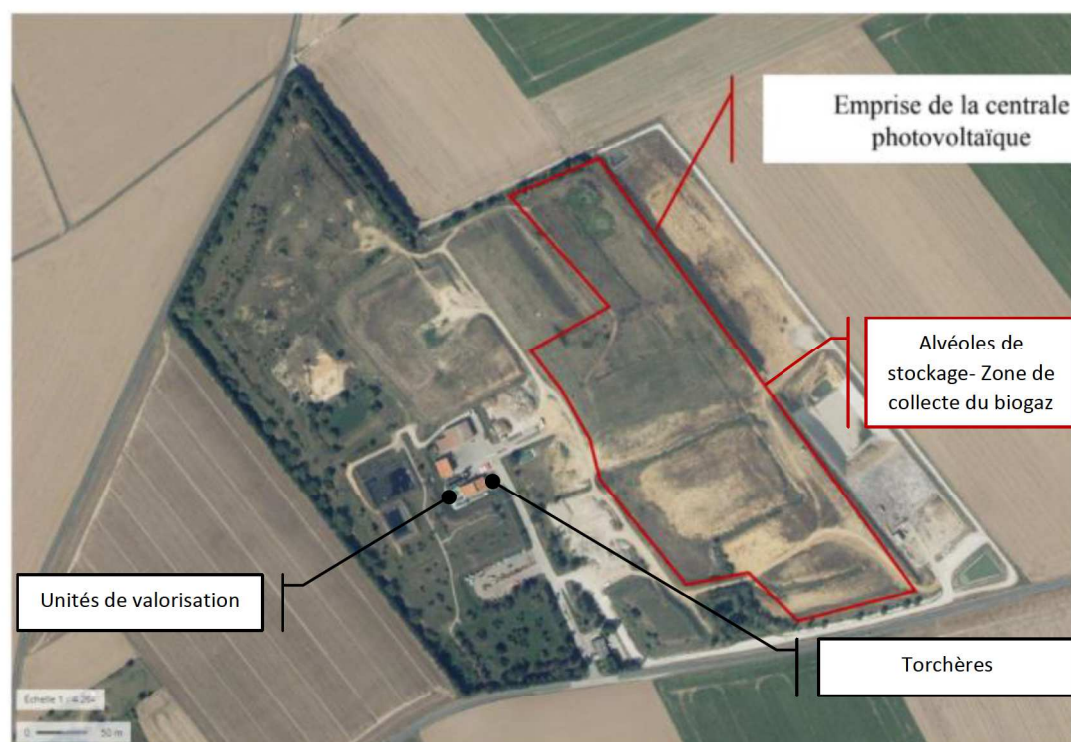


Figure 1 : Vue aérienne du site

4.2 Description simplifiée de fonctionnement de l'installation

Les déchets sont stockés dans des alvéoles, celles-ci sont équipées d'une couverture limitant la diffusion de biogaz vers l'extérieur. Cette couverture sera adaptée en fonction du statut d'exploitation :

- ❖ Pas de couverture : en cours de remplissage ;
- ❖ Couverture semi-perméable : remplie mais dans une zone encore en exploitation ;
- ❖ Couverture définitive avec géomembrane : exploitation terminée.

Le biogaz est issu de la fermentation des déchets stockés et compactés. Il est composé essentiellement de méthane et de dioxyde de carbone. Ce biogaz est aspiré au cœur du massif de déchets, par un réseau de captage mis en dépression.

Les lixiviats sont récupérés aux points bas des alvéoles par pompage et envoyés dans un bassin de stockage. Ces canalisations sont installées au moment de l'enfouissement.

Le biogaz est aspiré par un réseau de captage mis en dépression vers l'unité de valorisation énergétique.

La Figure 3 donne un schéma simplifié des activités.

L'unité de valorisation énergétique est constituée de 2 moteurs thermiques (Figure 3) et permet :

- ❖ La production de chaleur par échange thermique. Elle est utilisée pour réchauffer les lixiviats de la lagune à une température de 28°C permettant un pré-traitement de l'ammoniac ;
- ❖ La production d'électricité par entraînement d'un alternateur. Elle est injectée sur le réseau d'électricité (rachat par EDF).

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05	
		REVISION : 01	

Après un pré-traitement de purification dans un filtre à charbon actif , le biogaz alimente 2 moteurs de combustion permettant de produire : de la chaleur et de l'électricité.

Chaque moteur est placé dans un caisson dédié, ventilé et insonorisé.

Deux torchères sont en place sur le site afin de palier à un éventuel dysfonctionnement de l'unité de valorisation énergétique.

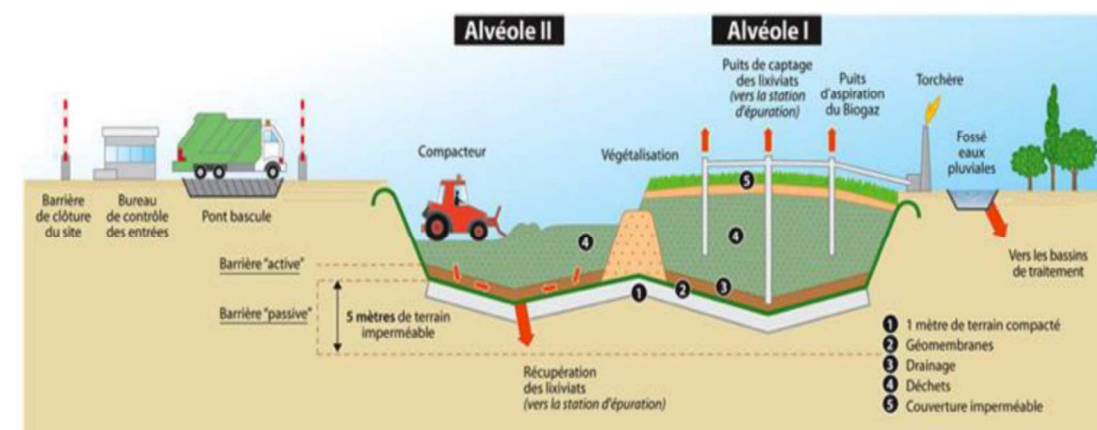


Figure 2 : Schéma des activités du site

La Figure 3 donne un schéma simplifié de l'installation de cogénération.

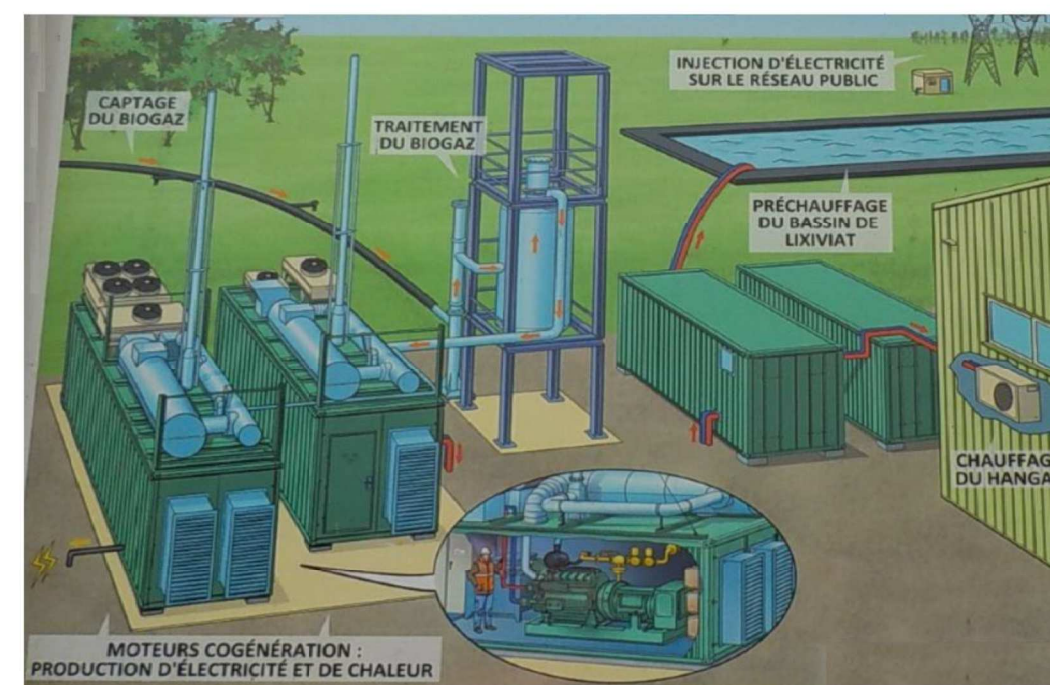


Figure 3 : Schéma des installations de cogénération

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05	
		REVISION : 01	

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05	
		REVISION : 01	

Les éléments suivants sont pris en considération dans la suite de l'étude :

- ✎ L'unité de traitement des lixiviats ne présente aucune utilisation de biogaz. Cette unité ainsi que les systèmes de pompage associés aux lixiviats ne sont pas étudiés par la suite ;
- ✎ Il est considéré que tous les casiers sont équipés de leur couverture définitive ;
- ✎ Seuls les équipements mettant en jeu du biogaz sont pris en compte.

5 Méthodologie

L'analyse de risque ATEX est basée sur les éléments présents dans la norme NF EN 60079-10-1 de Mai 2016 (classification des emplacements où des atmosphères explosives gazeuses sont ou peuvent être présentes). La méthodologie suivie est présentée ci-dessous :

- ✎ Identification des produits dangereux utilisés ou stockés ;
- ✎ Identification des sources de dégagement
- ✎ Caractérisation des zones:
 - Degré de dégagement ;
 - Ventilation ;
 - Type de zone : zone 0, zone 1, zone 2 ;
 - Étendue des zones
- ✎ Mesures de prévention et de protection préconisées

Note : Concernant les éventuels zonages (et traitement du risque) internes aux équipements CE, cette partie relève de la responsabilité du concepteur de chaque équipement au travers de la directive machine (analyse et prise en compte des risques incendie et explosion à la conception).

La terminologie utilisée dans le cadre de cette étude est définie en annexe 1.

6 Identification des sources de dégagement

6.1 Identification des substances mise en œuvre

En France, les produits ayant un point éclair inférieur à 60°C sont considérés comme des liquides inflammables et sont pris en compte dans le classement de zones (définition issue du règlement CE n°1272/2008 du 16 décembre 2008 - règlement CLP). Les produits ayant un point éclair supérieur à 60°C ne sont à l'origine d'un classement de zones dangereuses que si leur température de travail est supérieure à leur point éclair.

Les lixiviats produits par le stockage présentent un potentiel de charge polluante pour l'environnement (chargés en matière organique, matières en suspension, azote et traces de métaux lourds) mais ne sont ni inflammables ni explosifs.

Concernant le biogaz issu de la fermentation des déchets, celui-ci est capté à travers un réseau de captage, valorisé ou brûlé à la torchère en cas de dysfonctionnement des installations de valorisation.

De manière générale, le biogaz contient les éléments suivants (proportions susceptibles d'évolution en fonction des périodes et des conditions) :

- ✎ CH₄ : teneur moyenne entre 30 et 55 % ;
- ✎ CO₂ : teneur moyenne entre 25 et 45 % ;
- ✎ O₂ : teneur moyenne entre 2 et 7 % ;
- ✎ H₂S : concentration moyenne entre 150 et 7 500 ppm.

Ce gaz contient de l'hydrogène sulfuré et d'autres composés tels que des mercaptans à l'état de traces qui, au vu des faibles quantités produites, ne présenteront pas de danger d'inflammabilité particulière.

Le biogaz peut former avec l'air un mélange détonant dès qu'il se trouvera dans une certaine proportion volumique, il est considéré la plage d'explosivité suivante⁽¹⁾:

- ✎ Limite Inférieure d'Explosivité (LIE) : 10%,
- ✎ Limite Supérieure d'Explosivité (LES) : 24 %.

Il est à noter que le biogaz est naturellement odorisé par la présence d'hydrogène sulfuré et de mercaptans. En cas de fuite, il sera donc facilement détectable par un opérateur.

Les caractéristiques du biogaz mis en œuvre sur le site sont les suivantes (cf. Tableau 1) :

Matière inflammables		Point éclair	Limite Inférieure d'Explosivité (LIE)	Limite Supérieure d'Explosivité (LES)	Température auto-inflammation	Densité gaz/vapeur
Désignation	Composition					
Biogaz	CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S	Gaz	10 %	24 %	535 °C	0.54 – 0.66

Tableau 1: Caractéristiques physico-chimiques des produits inflammables

Les lixiviats produits par le stockage et le compactage des déchets présentent un potentiel de charge polluante pour l'environnement (chargés en matière organique, matières en suspension, azote et traces de métaux lourds) mais ne sont ni inflammables ni explosifs.

6.2 Sources de dégagement associées aux activités

6.2.1 Casiers de stockage

Comme mentionné précédemment, différentes couvertures des alvéoles sont utilisées en fonction du stade d'exploitation. Ces couvertures limitent la diffusion de biogaz vers le milieu extérieur mais ne constituent pas un taux de captage exhaustif. Ainsi, un casier de stockage présente des points de dégagement de biogaz : une accumulation de gaz dans une unité d'exploitation est susceptible de générer une atmosphère explosive.

Une analyse de risque et classement de zone ATEX seront réalisés au niveau du ciel gazeux des alvéoles de stockages de déchets non dangereux, avec une étude du degré de dégagement en fonction de la phase d'exploitation du casier. Dans le cas du site de Malleville-sur-le-Bec, les alvéoles sont considérées comme équipées de leur couverture définitive soit : couverture avec géomembrane.

Nota: Une situation accidentelle telle que la détérioration du dispositif d'étanchéité (déchirement de la géomembrane) créerait également un point de dégagement et pourrait également générer une

¹⁰ Cas de mesures réalisées à l'INERIS pour un mélange 50% CH₄ /50% CO₂ dans l'air saturé de vapeur d'eau - « Explosion characteristics of synthesised biogas at various temperatures », Dupont L. and Accorsi A., Journal of Hazardous Materials, B136, pp. 520-525, 2006.

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05	
		REVISION : 01	

atmosphère explosive. Cette situation est considérée comme accidentelle, il n'est pas nécessaire de classer cette zone pour cet évènement particulier.

6.2.2 Réseau de dégazage

6.2.2.1 Puits de dégazage verticaux

Les puits de captage du biogaz sont conçus pour capter le biogaz uniquement (puits biogaz au niveau de l'ancienne zone et puits mixtes utilisés simultanément pour le captage du biogaz et des lixiviats). Les puits de dégazage verticaux sont mis en place progressivement à la fin de l'exploitation d'une zone de manière à couvrir la surface des casiers, avec un rayon de captage d'environ 25 m pour chaque puits. Ces ouvrages, comme le reste du réseau de dégazage, sont mis en dépression par les surpresseurs installés immédiatement en amont des moteurs de cogénération (ou des torchères), abaissant ainsi les risques de fuite de biogaz à l'extérieur au niveau des puits. L'extérieur des puits de dégazage n'est donc pas susceptible de générer une atmosphère explosive en fonctionnement normal ; cependant une accumulation de gaz à l'intérieur des puits est susceptible de générer une atmosphère explosive.

Une analyse de risque et classement de zone ATEX seront réalisés pour l'intérieur et l'extérieur de chaque puits de captage.

6.2.2.2 Canalisations de biogaz

Les puits de captage du biogaz sont raccordés à des collecteurs (Ø160) acheminant le biogaz vers l'unité de valorisation.

L'ensemble du réseau de captage du biogaz est mis en dépression. Ainsi, les risques de fuite de biogaz vers l'extérieur, via le réseau, sont négligeables le long des canalisations. En outre, le réglage du réseau et l'analyse de la qualité du gaz permet de vérifier l'absence d'entrée d'air dans le réseau.

Ainsi, les canalisations de biogaz des puits de captage aux équipements d'utilisation du biogaz sont susceptibles de générer une atmosphère explosive uniquement au niveau des éléments de tuyauterie (vannes, instrumentation, raccords...), en cas d'introduction d'air dans la canalisation ou de fuite de biogaz vers l'extérieur pour cause de non-étanchéité du point de rapport (usure, corrosion, etc.).

Une analyse de risque et classement de zone ATEX seront réalisés au niveau des canalisations biogaz.

Remarque : Des situations anormales telles que des fuites peuvent se produire mais l'effet de la ventilation, même naturelle, permet de s'affranchir de la formation d'une zone dangereuse : un degré de dégagement de deuxième degré est défini pour les canalisations de biogaz car le risque de dégagement ne se présente pas en fonctionnement normal mais en situation occasionnelle ou accidentelle (ouverture de vanne, fuite sur les raccords etc.)

6.2.3 Unités de valorisation énergétique

Le biogaz du CETRAVAL est valorisé au sein de 2 groupes moteurs.

Ces unités permettent l'utilisation du biogaz par combustion tout en produisant de la chaleur et de l'électricité, le risque d'explosion n'est donc pas considéré en situation normale car le biogaz est détruit sur ces installations et la présence d'une source d'inflammation est nécessaire au procédé.

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05	
		REVISION : 01	

6.2.3.1 Groupes moteurs

Deux moteurs permettent de valoriser le biogaz, ils présentent des puissances respectives de 600 et 200 kW, ils sont capables de consommer au total 400 m³/h de biogaz.

Les moteurs en eux même ne font pas l'objet d'un zonage ATEX car les éventuels zonages (et traitement du risque) internes aux équipements CE relèvent de la responsabilité du concepteur de chaque équipement au travers de la directive machine (analyse et prise en compte des risques incendie et explosion à la conception).

Cependant, la survenue de fuites de biogaz, sur le moteur ou au niveau de son alimentation, peut former des ATEX générant un risque d'explosion. Ces risques sont d'autant plus importants que le local de cogénération constitue un espace confiné.

6.2.3.2 Équipements annexes

Filtre à charbon actif

Le biogaz est prétraité par un filtre au charbon actif avant combustion. Ce filtre est implanté en extérieur en amont des surpresseurs, il est donc mis en dépression comme le reste du réseau de collecte de biogaz, ainsi cet équipement est susceptible de générer une atmosphère explosive uniquement au niveau des éléments de tuyauterie (vannes, instrumentation, raccords...), en cas d'introduction d'air dans la canalisation ou de fuite de biogaz vers l'extérieur pour cause de non-étanchéité du point de rapport (usure, corrosion, etc.).

Cette situation est traitée au sein du cas « canalisations de biogaz ».

Surpresseurs

Les conteneurs des groupes moteurs contiennent également chacun un surpresseur.

Le surpresseur est assimilé à un compresseur, cet équipement est susceptible de générer une atmosphère explosive.

Les conteneurs sont équipés d'un système de ventilation forcée à vitesse variable asservi à la température du conteneur.

6.2.4 Torchères

6.2.4.1 Équipements principaux

Trois torchères sont présentes sur le site, seules deux sont fonctionnelles, elles sont placées en extérieur (cf. Figure 1).

Les torchères sont utilisées en cas de dysfonctionnement des installations de cogénération.

Les torchères lorsqu'elles sont en fonctionnement représente un équipement contenant une source d'inflammation interne permanente, cependant elle ne fait pas l'objet d'un zonage ATEX en fonctionnement normal car :

- Les torchères sont situées en extérieur, la ventilation est donc naturelle, de degré moyen et de bonne disponibilité,

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05	
		REVISION : 01	

- Les torchères sont isolées du reste de l'installation et sont équipées d'un système de coupure automatique,
- Le réseau est en dépression; la taille de génération d'une potentielle zone ATEX est donc négligeable,
- D'après le guide ATEX GESIP, les torches en fonctionnement ne génèrent pas de zones classées.

Toutefois, un dysfonctionnement des torches entraînant l'extinction de celles-ci doit être prévenu par des mesures de contrôle adaptées. En cas de présence de biogaz dans les torchères lorsque celle-ci ne sont pas en marche, une atmosphère explosive est susceptible d'être présente et cette situation est équivalente à celle d'un événement sur un équipement.

Une analyse de risque et classement de zone ATEX seront réalisés au niveau des cheminées des torchères.

6.2.4.2 Équipements annexes torchères

En amont de la torchère sont présents les équipements suivants (cf. Figure 4) :

- Un dévésiculateur avec pot de purge ;
- Un surpresseur ;
- Des équipements de mesures.

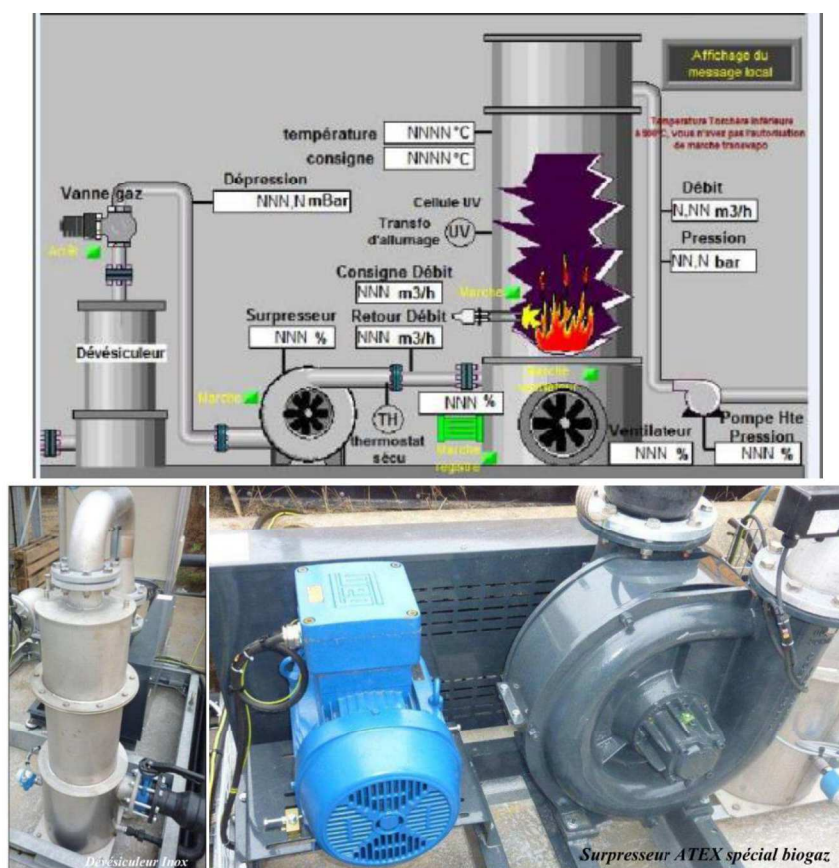




Figure 4 : Exemples d'équipements annexes aux torchères

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05	
		REVISION : 01	

Les équipements en amont du surpresseur sont mis sous dépression. Ainsi, les risques de fuite de biogaz vers l'extérieur, via le réseau, sont négligeables. Des situations anormales telles que des fuites peuvent se produire mais l'effet de la ventilation naturelle (équipements en extérieur dans le cas du site de Malleville-sur-le-Bec), permet de s'affranchir de la formation d'une zone dangereuse : un degré de dégagement de deuxième degré est défini pour les équipements en amont du surpresseur car le risque de dégagement ne se présente pas en fonctionnement normal mais en situation occasionnelle ou accidentelle (ouverture de vanne, fuite sur les raccords etc.)



Le surpresseur est assimilé à un compresseur, cet équipement est susceptible de générer une atmosphère explosive.

La purge du dévésiculateur est réalisée de façon automatique grâce à une soupape hydraulique les purges sont collectées dans un pot de purge. Une atmosphère explosive est susceptible d'être présente au niveau du pot de purge.

Les équipements en aval du surpresseur sont susceptibles de générer une atmosphère explosive uniquement au niveau des éléments de tuyauterie notamment (vannes, instrumentation, raccords...), en cas de fuite de biogaz vers l'extérieur pour cause de non-étanchéité du point de rapport (usure, corrosion, etc.). Cependant, ces situations sont des situations anormales et l'effet de la ventilation naturelle (équipements en extérieur dans le cas du site de Malleville-sur-le-Bec) permet de s'affranchir de la formation d'une zone dangereuse : un degré de dégagement de deuxième degré est défini pour les équipements en aval du surpresseur car le risque de dégagement ne se présente pas en fonctionnement normal mais en situation occasionnelle ou accidentelle (ouverture de vanne, fuite sur les raccords etc.)

Concernant les éventuels zonages (et traitement du risque) internes aux équipements CE, cette partie relève de la responsabilité du concepteur de chaque équipement au travers des directives machine (analyse et prise en compte des risques incendie et explosion à la conception).

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05	
		REVISION : 01	

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05	
		REVISION : 01	

6.3 Synthèse des sources de dégagement

Les sources de dégagement d'une ATEX au sein des installations sont listées dans le Tableau 2.

Sources	Conditions d'occurrence	Source retenue	Type de dégagement		
			Continu	Primaire	Secondaire
Alvéole de stockage					
Alvéoles de stockage fermée	Accumulation de gaz à l'intérieur de l'alvéole, non prévisible en fonctionnement normal. Il est considéré qu'en phase de 90% du biogaz peut être capté par les puits en place. Ainsi, 10% du biogaz serait libéré vers l'extérieur.	Oui	/	/	X En cas d'accumulation de gaz
Réseau biogaz					
Canalisations, vannes, brides et ensemble des équipements	Situation occasionnelle ou accidentelle (ouverture de vanne, fuite sur les raccords etc.). Il est à noter que le réseau est mis en dépression.	Oui	/	/	X
Utilisation du biogaz					
Torchère	Dégagement non prévisible de biogaz. Situation occasionnelle ou dysfonctionnement	Oui	/	/	X
Équipements annexes: Équipements en amont du surpresseur	Dégagement non prévisible de biogaz. Situation occasionnelle ou dysfonctionnement	Oui	/	/	X
Équipements annexes: pot de purge	Dégagement non prévisible de biogaz. Situation occasionnelle ou dysfonctionnement	Oui	/	/	X
Équipements annexes: surpresseur	Dégagement non prévisible de biogaz. Situation occasionnelle ou dysfonctionnement	Oui	/	/	X
Équipements annexes: Équipements en aval du surpresseur	Dégagement non prévisible de biogaz. Situation occasionnelle ou dysfonctionnement	Oui	/	/	X
Unité de valorisation énergétique					
Moteur cogénération	Dégagement non prévisible de biogaz. Situation occasionnelle ou dysfonctionnement	Oui	/	/	X
Équipements annexes: surpresseur	Dégagement non prévisible de biogaz. Situation occasionnelle ou dysfonctionnement	Oui	/	/	X
Filtre à Charbon actif	Situation occasionnelle ou accidentelle (ouverture de vanne, fuite sur les raccords etc.). Il est à noter que le réseau est mis en dépression.	Oui	/	/	X
Réseau de dégazage					
Puits de captage du Biogaz (biogaz seul ou mixte)	Accumulation de gaz à l'intérieur des puits possible en fonctionnement normal Risque de dégagement non prévisible en fonctionnement normal (réseau en dépression)	Oui	/	X A l'intérieur du puits	X A l'extérieur du puits
Lixiviats					
Bassin de stockage lixiviat ouvert	Pas de source de dégagement générant de zone ATEX	Non	/	/	/
Puits de captage des lixiviat	Pas de source de dégagement générant de zone ATEX	Non	/	/	/

Tableau 2 : Sources de dégagement identifiées au sein de l'installation

7 Caractérisation des zones

7.1 Critères de classement

Dans le cas des gaz, le classement des emplacements dangereux en zones est réalisé sur la base des définitions² suivantes:

- **Zone 0** : emplacement où une ATEX consistant en un mélange avec l'air de substances inflammables sous forme de gaz est présente en permanence ou pendant de longues périodes ou fréquemment;
- **Zone 1** : emplacement où une ATEX consistant en un mélange avec l'air de substances inflammables sous forme de gaz est susceptible de se présenter occasionnellement en fonctionnement normal ;
- **Zone 2** : emplacement où une ATEX consistant en un mélange avec l'air de substances inflammables sous forme de gaz n'est pas susceptible de se présenter en fonctionnement normal ou, si elle se présente néanmoins, n'est que de courte durée.

7.2 Classement des zones dangereuses

Le Tableau 3 fait la synthèse du classement des zones dangereuses identifiées pour les équipements associés au biogaz au sein de l'installation de stockage de déchets .

Type d'équipement	Degré de dégagement	Milieu	Degré de dilution	Disponibilité de la ventilation	Substance	Groupe de poussière/Gaz ³	Classe de température	Type de zone	Étendue	Justification
Alvéoles de stockage fermée	secondaire	Extérieur	Faible (ventilation naturelle limitée par la couverture finale)	Médiocre (ventilation naturelle limitée par la couverture finale)	Biogaz	IIA	T1	zone 2	Intérieur de l'alvéole	Sur la base de la proposition de zonage donnée dans le guide de méthanisation de l'INERIS (réf. 5). L'intérieur d'un casier avec couverture définitives est assimilé à une fosse de digestat couverte.
Réseau biogaz										
Canalisations, vannes, brides et ensemble des équipements	secondaire	Extérieur	Moyen (cf. §5C.3.5 norme 50079-10-1)	Bonne	Biogaz	IIA	T1	END	/	Cependant, le zonage ATEX n'est pas retenu pour cette zone car, conformément au paragraphe 9.1.5 de l'API 505 (Réf.2), L'expérience a montré que la libération de matières inflammables de certaines opérations et appareils est si rare qu'il n'est pas nécessaire de classer les zones environnantes. Un exemple d'une telle zone est un endroit convenablement ventilé où des substances inflammables sont contenues dans des systèmes de tuyauteries fermés appropriés et bien entretenus qui comprennent uniquement les tuyaux, les raccords, les brides, les compteurs et les petites vannes. De plus, il est à noter que le réseau de collecte de biogaz est mis en dépression, limitant les émissions de gaz vers l'extérieur
Utilisation du biogaz										
Torchère à l'arrêt /dysfonctionnement	secondaire	Extérieur	Moyen (cf. §5C.3.5 norme 50079-10-1)	Bonne	Biogaz	IIA	T1	Zone 1 entourée d'une zone 2	Zone 1 : sphère de rayon 1,5 m entourée d'une zone 2: sphère de rayon de 3 m centrée sur l'extrémité de la cheminée de la torchère.	La cheminée de la torchère est assimilable à un événement sur un équipement, le zonage est défini conformément à la figure 14A de l'API 505 (Réf.2) correspondant aux événements des équipements non-sujets à des rejets continus ou durant de longues périodes.
Surpresseur	secondaire	Extérieur	Moyen (cf. §5C.3.5 norme 50079-10-1)	Bonne	Biogaz	IIA	T1	Zone 2	Sphère de 3m centrée sur l'équipement	Figure 51 de l'API 505 (Réf.2) pour les compresseurs mettant en œuvre des gaz inflammables.
Pot de purge amont /dévésiculeur	secondaire	Extérieur	Moyen (cf. §5C.3.5 norme 50079-10-1)	Bonne	Biogaz	IIA	T1	Zone 2	Zone 2 : à l'intérieur du pot de purge Zone 2: Sphère de rayon 3 m à l'extérieur du pot de purge	Sur la base de la proposition de zonage donnée dans le guide de méthanisation de l'INERIS (réf. 5), l'équipement assimilé à un puits de condensats enterrés.
Équipements annexes: Equipements en amont du surpresseur (éléments de tuyauterie et devésiculeur)	secondaire	Extérieur	Moyen (cf. §5C.3.5 norme 50079-10-1)	Bonne	Biogaz	IIA	T1	END	/	Cf. justifications du réseau biogaz. De plus, les équipements en amont du surpresseur sont mis en dépression.

³ NFPA 497 : classe IIA pour les atmosphères contenant du méthane

Étude de zonage ATEX

19/33

Type d'équipement	Degré de dégagement	Milieu	Degré de dilution	Disponibilité de la ventilation	Substance	Groupe de poussière/Gaz ³	Classe de température	Type de zone	Étendue	Justification
Équipements en aval du surpresseur (éléments de tuyauterie)	secondaire	Extérieur	Moyen (cf. §5C.3.5 norme 50079-10-1)	Bonne	Biogaz	IIA	T1	END	/	Cependant, le zonage ATEX n'est pas retenu pour cette zone car, conformément au paragraphe 9.1.5 de l'API 505 (Réf.2), L'expérience a montré que la libération de matières inflammables de certaines opérations et appareils est si rare qu'il n'est pas nécessaire de classer les zones environnantes. Un exemple d'une telle zone est un endroit convenablement ventilé où des substances inflammables sont contenues dans des systèmes de tuyauteries fermés appropriés et bien entretenus qui comprennent uniquement les tuyaux, les raccords, les brides, les compteurs et les petites vannes.
Unité de valorisation énergétique										
Moteur cogénération	secondaire	Intérieur	Non Connu	Non Connu	Biogaz	IIA	T1	Zone 2	Intérieur du conteneur	Sur la base de la proposition de zonage donnée dans le guide de méthanisation de l'INERIS (réf. 5). Dans le cas d'une ventilation mécanique permanente et d'une détection gaz assurée au fonctionnement de la cogénération, il est possible de classer le local hors zone si ces mesures sont pérennes (ventilation et détection)
Surpresseur	secondaire	Extérieur	Moyen (cf. §5C.3.5 norme 50079-10-1)	Bonne	Biogaz	IIA	T1	Zone 2	Sphère de 3m centrée sur l'équipement	Figure 51 de l'API 505 (Réf.2) pour les compresseurs mettant en œuvre des gaz inflammables. Les surpresseurs étant localisés à l'intérieur du conteneur, le zonage de l'intérieur du conteneur associé au moteur permet la couverture du zonage associé au surpresseur.
Filtre à Carbon actif	secondaire	Extérieur	Moyen (cf. §5C.3.5 norme 50079-10-1)	Bonne	Biogaz	IIA	T1	END	/	Cependant, le zonage ATEX n'est pas retenu pour cette zone car, conformément au paragraphe 9.1.5 de l'API 505 (Réf.2), L'expérience a montré que la libération de matières inflammables de certaines opérations et appareils est si rare qu'il n'est pas nécessaire de classer les zones environnantes. Un exemple d'une telle zone est un endroit convenablement ventilé où des substances inflammables sont contenues dans des systèmes de tuyauteries fermés appropriés et bien entretenus qui comprennent uniquement les tuyaux, les raccords, les brides, les compteurs et les petites vannes.
Réseau de dégazage										
Puits de captage du Biogaz (biogaz seul ou mixte)	primaire	Extérieur	Moyen (ventilation naturelle)		IIA	T1		- Zone 1 : puits - Zone 2 : extérieur du puits	-zone 1 : intérieur du puits - zone 2 : sphère de rayon 3 m à l'extérieur du puits, centrée sur le puits	Les puits de captage du biogaz sont assimilés à des puits de condensats enterrés, le zonage est basé sur la proposition de zonage donnée dans le guide de méthanisation de l'INERIS (Réf.5).

END = Emplacement Non Dangereux

Tableau 3 : Classement des zones dangereuses

Les zones à risques ATEX définies dans le tableau précédent sont représentées sur le plan des installations. Cette cartographie est disponible en annexe 2.

Étude de zonage ATEX

20/33

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05	
		REVISION : 01	

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05	
		REVISION : 01	

8 Mesures de prévention et de protection

8.1 Généralités

Lorsque l'analyse fait apparaître un risque d'explosion de poussières ou de gaz, il convient, pour protéger les personnes et les biens :

- De minimiser ce risque en limitant autant que possible les volumes explosibles potentiels ;
- De pallier ce risque en empêchant l'explosion de se produire en supprimant les causes d'inflammation d'un mélange dangereux ;
- De limiter les conséquences d'une explosion par des moyens technologiques et/ ou de protections.

8.2 Prévention par action sur les sources d'inflammation

Une autre action de prévention consiste à agir sur les sources d'inflammation potentiellement présentes dans les zones à risques d'explosion. Le Tableau 4 ci-dessous liste les sources d'inflammation potentielles au niveau des installations.

Sources d'inflammation potentielles	Préconisations liées aux sources potentielles d'inflammation
<ul style="list-style-type: none"> - Étincelles d'origine électrique ou mécanique (chocs liés à un engin); - Étincelles formées par des décharges électrostatiques; - Points chauds. 	Mise à la terre; <ul style="list-style-type: none"> - Interdiction de fumer, téléphoner dans les zones à risque ATEX - Plan de prévention / permis de travail lors d'intervention sur les équipements ; - Matériel électrique adaptés aux zones à risque ATEX.

Tableau 4 : Sources d'inflammation potentielles et préconisations

Le matériel électrique présent dans les zones à risque d'explosion doit être conforme à la réglementation. Une aide à la compréhension du marquage ATEX est donnée en annexe 3.

8.3 Recommandations

Les recommandations formulées visent à limiter la formation de zones à risques ATEX ou d'éviter leur inflammation.

Le Tableau 5 ci-dessous des recommandations pour limiter la formation de zones à risque ATEX potentielles au niveau des installations.

Équipements	Zones à risque ATEX	Recommandations
Puits d'aspiration du Biogaz	- En cas de détérioration accidentelle ou d'étanchéité dégradée, une fuite de gaz peut entraîner l'aspiration de l'air dans le réseau et le dégagement de biogaz.	<ul style="list-style-type: none"> - Surveillance de la dépression du réseau ; - Surveillance du réseau pour détection de fuite ; - Établir des procédures d'intervention sur le réseau.
Canalisations, vannes, brides et ensemble des équipements	Les canalisations de biogaz des puits de captage à la torchère sont susceptibles de générer une atmosphère explosive uniquement au niveau des raccords sur les canalisations, en cas d'introduction d'air dans la canalisation ou de fuite de biogaz vers l'extérieur pour cause de non-étanchéité du point de rapport (usure, corrosion, etc.).	<ul style="list-style-type: none"> - Vérification et entretien des canalisations ; - Surveillance de la dépression du réseau ; - Surveillance de la composition du biogaz (la présence excessive d'O₂ peut être indicatrice d'une entrée d'air) ; - Mise en place d'une procédure de surveillance des canalisations.
Torchère	- Présence de biogaz en cas d'arrêt de la torchère.	<ul style="list-style-type: none"> - Système de coupure de l'alimentation en gaz en cas de perte de la flamme (dysfonctionnement bruleur) ; - Présence d'un clapet anti-retour.
Conteneur des moteur de cogénération	- En cas de détérioration accidentelle ou d'étanchéité dégradée, une fuite de gaz peut entraîner l'aspiration de l'air dans le réseau et le dégagement de biogaz.	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en place d'un dispositif d'arrêt d'urgence des moteurs (type « coup de poing ») et une vanne d'arrêt de l'alimentation en biogaz installés à l'extérieur du local de cogénération ; - Mettre en place un dispositif de détection de CH₄ dans le local de cogénération ; - Mettre en place une ventilation mécanique permanente dans le local des moteurs et elle doit fonctionner en présence d'une atmosphère explosive en cas de dysfonctionnement (fuite de gaz) ; - Le fonctionnement des moteurs de combustion doit être asservi au débit de biogaz.

Tableau 5 : Recommandations associées aux sources potentielles d'ATEX

8.4 Mesures organisationnelles générales

Les mesures organisationnelles permettent de garantir et de maintenir la protection des salariés contre les explosions. Les mesures organisationnelles viennent en complément des mesures données ci-dessus :

- 🚩 Signalétique des zones à risque d'explosion ;
- 🚩 Rédactions d'instructions pour les lieux de travail présentant des risques résultant d'atmosphères explosives. Ces instructions doivent concerner en notamment :
 - L'interdiction de fumer et d'utilisation du téléphone portable ou autres dispositifs électroniques non adaptés,
 - L'établissement de permis de feu systématique pour les travaux par points chauds,
 - La conduite, la maintenance et l'entretien des équipements de travail ;
 - La procédure à suivre en cas de dysfonctionnement ou d'incident ;
- 🚩 Formation et information des travailleurs ;
- 🚩 Système d'autorisation des travaux ;

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05	
		REVISION : 01	

- Opérations de maintenance : mise en service, l'entretien, l'inspection et le contrôle des installations. Le personnel de maintenance doit être informé des risques et habilité. Les travaux dans les zones risques sont autorisés par un responsable.

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05	
		REVISION : 01	

9 Conclusion

Le biogaz issu de la fermentation des déchets et bruler au sein de l'installation est un gaz inflammable susceptible de conduire à l'apparition de zones à risques ATEX.

L'analyse des conditions d'exploitation , et le respect de certaines disposition réglementaires et bonnes pratiques ont conduit à identifier les zones ATEX présentées dans le Tableau 3 et cartographiées sur le plan des installations donné en annexe 2.

Ce zonage devra servir de guide pour la conception du projet de mise en place de panneaux photovoltaïques sur le site.

Le classement de zones proposé doit faire l'objet d'une révision à chaque modification :

- Des installations ;
- De l'environnement des équipements, et plus particulièrement des conditions de ventilation ;
- Des conditions opératoires ;
- Des produits utilisés ou générés par les procédés mis en œuvre.

Pour rappel, dans le cadre de la réglementation ATEX , l'exploitant devra rédiger le Document Relatif à la Prévention Contre les Explosions prévu par l'article R4227-52 du Code du Travail.

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05	
		REVISION : 01	

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05	
		REVISION : 01	

ANNEXE 1 : Définitions

Définitions

Définitions générales

Point d'éclair : Température la plus basse d'un liquide à laquelle, dans certaines conditions normalisées, ce liquide libère des vapeurs en quantité telle qu'un mélange vapeur/air inflammable puisse se former. (NF EN 60079-10)

Limite Inférieure d'Explosivité (LIE) : Concentration dans l'air de gaz ou vapeur inflammable, au-dessous de laquelle l'atmosphère gazeuse n'est pas explosive. (NF EN 60079-10-1)

Limite Supérieure d'Explosivité (LSE) : Concentration dans l'air de gaz ou vapeur inflammable, au-dessus de laquelle l'atmosphère gazeuse n'est pas explosive. (NF EN 60079-10-1)

Température d'Inflammation d'une atmosphère explosive gazeuse : Température la plus basse d'une surface chaude à laquelle, dans des conditions spécifiées, l'inflammation d'une substance inflammable sous la forme d'un mélange de gaz ou de vapeur avec l'air peut se produire. (NF EN 60079-10)

Étendue de zone : Distance en tous sens de la source de dégagement au point où le mélange air/gaz a été dilué par l'air à une valeur inférieure à la valeur au-dessous de la limite inférieure d'explosivité. (NF EN 60079-10)

Emplacement dangereux : Emplacement dans lequel une atmosphère explosive gazeuse est présente, ou dans lequel on peut s'attendre qu'elle soit présente, en quantités suffisantes pour nécessiter des précautions particulières pour la construction, l'installation et l'utilisation de matériel. (NF EN 60079-10)

Emplacement non dangereux : Emplacement dans lequel on ne s'attend pas à ce qu'une atmosphère explosive gazeuse soit présente en quantités suffisantes pour nécessiter des précautions particulières pour la construction, l'installation et l'utilisation de matériel. (NF EN 60079-10)

Pression de vapeur : Pression à laquelle un fluide passe de l'état liquide à l'état gazeux pour une température donnée.

Groupe de gaz : Les diverses substances peuvent s'enflammer suite à l'apport d'une énergie suffisante. Plus l'énergie suffisante est faible, plus la substance est dangereuse.



- *IEMS : Interstice Expérimental Maximal de Sécurité*

C'est l'épaisseur maximale de la couche d'air entre deux parties d'une chambre interne d'un appareil d'essai qui, lorsque le mélange interne est enflammé empêche l'inflammation du même mélange gazeux externe à travers un épaulement de 25 mm de longueur.

- *EMI : Energie Minimal d'Inflammation*

Energie minimale qui doit être fournie au mélange, sous forme d'une flamme ou d'une étincelle, pour provoquer l'inflammation.

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05	
		REVISION : 01	

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz	Référence du document : REP-122020-061-05	
		REVISION : 01	

Source de dégagement : Point ou endroit d'où un gaz, vapeur ou un liquide inflammable peut être libéré dans l'atmosphère, de telle sorte qu'une atmosphère explosive gazeuse soit créée.

Définition des zones ATEX gaz et vapeurs

Les emplacements dangereux sont classés en zones, d'après la fréquence et la durée de la présence d'une atmosphère explosive gazeuse, comme suit :

- **Zone 0** : Emplacement dans lequel une atmosphère explosive est présente en permanence, ou pendant de longues périodes ou encore fréquemment. (NF EN 60079-10-1)
- **Zone 1** : Emplacement dans lequel il est probable qu'une atmosphère explosive gazeuse apparaîtra occasionnellement en fonctionnement normal. (NF EN 60079-10-1)
- **Zone 2** : Emplacement dans lequel une atmosphère explosive gazeuse n'est pas susceptible de se présenter en fonctionnement normal mais qui si c'est le cas, peut persister uniquement sur une durée courte. (NF EN 60079-10-1).

Méthodologie de classement de zone (NF EN 60079-10-1)

Il y a 3 degrés de dégagement de base, énumérés ci-dessous par ordre décroissant de probabilité de présence d'une atmosphère explosive :

- Degré continu : dégagement qui se produit en permanence ou dont on s'attend à ce qu'il se produise pendant de longues périodes ;
- Premier degré : dégagement dont on peut s'attendre à ce qu'il se produise de façon périodique ou occasionnelle en fonctionnement normal ;
- Deuxième degré : dégagement dont on ne s'attend pas qu'il se produise en fonctionnement normal et dont il est probable que, s'il se produit, ce sera seulement à une faible fréquence et pour de courtes périodes.

Ventilation (NF EN 60079-10-1)

Des taux de ventilation appropriés peuvent réduire la durée de persistance d'une atmosphère explosive gazeuse et ainsi affecter le type de zone.

La ventilation et le mouvement d'air ont deux fonctions de base :

- Augmenter le taux de dilution et favoriser la dispersion afin de limiter l'étendue d'une zone ;
- Éviter la persistance d'une atmosphère explosive qui peut influencer le type d'une zone.

Les deux types de ventilation sont :

- La ventilation naturelle ;
- La ventilation artificielle (ou forcée), générale par rapport à l'emplacement ou locale par rapport à la source de dégagement.

Degré de dilution(NF EN 60079-10-1)

Le degré de dilution en fonction de la ventilation présente au niveau de la source de dégagement, il peut être :

- Élevé ;
- Moyen,
- faible

Disponibilité de la ventilation (NF EN 60079-10-1)

La disponibilité de la ventilation a une influence sur la présence ou la formation d'une atmosphère explosive gazeuse et, par conséquent, également sur le type de zone. La probabilité de ne pas disperser les atmosphères inflammables augmente au fur et à mesure de la diminution de la disponibilité (ou fiabilité) de la ventilation. Le classement en zone a tendance à être plus sévère, c'est-à-dire qu'une zone 2 peut devenir une zone 1, voire une zone 0.

Trois niveaux de disponibilité de la ventilation sont pris en considération :

- Bonne : la ventilation existe pratiquement en permanence ;
- Assez bonne : la ventilation est censée être présente pendant le fonctionnement normal. Des interruptions sont permises, pourvu qu'elles se produisent de façon peu fréquente et pendant de courtes périodes ;
- Médiocre : la ventilation ne satisfait pas aux normes de bonne ou d'assez bonne ventilation ; toutefois, des interruptions prolongées ne sont pas prévues.

Une ventilation dont la disponibilité ne satisfait même pas à l'exigence "médiocre" ne doit pas être considérée comme contribuant à la ventilation de l'emplacement, c'est-à-dire qu'une dilution faible s'applique.





Types de zone

La probabilité de présence d'une atmosphère explosive gazeuse ou d'un nuage de poussières explosives permet de déterminer les classements des zones :

- Gaz/ vapeurs : zone 0, zone 1, zone 2 et zone non dangereuse ;
- Poussières : zone 20, zone 21, zone 22.

La prise en compte des caractéristiques de ventilation pour les caractérisations des zones ATEX gaz/vapeurs est réalisée suivant le Tableau 6.


Tableau 6 : Type de zone en fonction du degré de dégagement et des caractéristiques de ventilation (extrait de la norme NF EN 60079-10-1)

Degré de dégagement	Efficacité de la ventilation						
	Dilution élevée			Dilution moyenne			Dilution faible
	Disponibilité de la ventilation						
	Bonne	Assez bonne	Médiocre	Bonne	Assez bonne	Médiocre	Bonne, assez bonne ou médiocre
Continu	Non dangereuse (Zone 0 EN) ^a	Zone 2 (Zone 0 EN) ^a	Zone 1 (Zone 0 EN) ^a	Zone 0	Zone 0  Zone 2	Zone 0  Zone 1	Zone 0
Primaire	Non dangereuse (Zone 1 EN) ^a	Zone 2 (Zone 1 EN) ^a	Zone 2 (Zone 1 EN) ^a	Zone 1	Zone 1  Zone 2	Zone 1  Zone 2	Zone 1 ou zone 0 ^c
Secondaire^b	Non dangereuse (Zone 2 EN) ^a	Non dangereuse (Zone 2 EN) ^a	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 1 et même Zone 0 ^c

^a Zone 0 EN, Zone 1 EN ou Zone 2 EN indique une zone théorique dont l'étendue est négligeable dans les conditions normales.

^b L'emplacement en Zone 2 créé par un degré « dégagement secondaire » peut dépasser celui correspondant à un degré « dégagement primaire » ou à un degré « dégagement continu », auquel cas, il convient de prendre la plus grande distance.

^c correspond à la Zone 0 si la ventilation est très faible et le dégagement tel qu'en pratique une atmosphère explosive gazeuse est présente de façon pratiquement permanente (c'est-à-dire que la situation est proche d'une situation d'absence de ventilation).

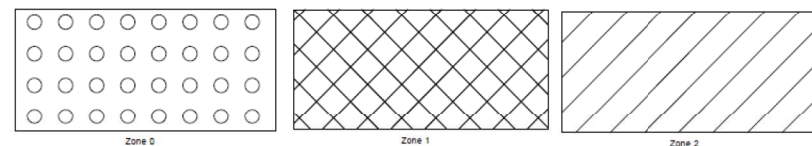
Le signe " signifie "entouré par".

La disponibilité de la ventilation dans des espaces clos à ventilation naturelle ne doit jamais être considérée comme étant bonne.

ANNEXE 2 : Cartographie des zones ATEX

Symboles utilisés pour le classement des zones dangereuses

Les symboles utilisés pour le classement des zones dangereuses sont les suivants (NF EN 60079-10-1) :





ZOOM Puits de Captage

ZOOM Conteneurs

ZOOM Torchère

Zone 1 : sphère de rayon 1.5 m centrée sur l'extrémité de la cheminée de la torchère.
 Zone 2: sphère de rayon 3 m centrée sur l'extrémité de la cheminée de la torchère.

Zone 1 : sphère de rayon 3 m centrée sur le surpresseur
 Zone 2: sphère de rayon 3 m à l'extérieur du pot de purge

LEGENDE
 Zone 0 (gaz et vapeurs)
 Zone 1 (gaz et vapeurs)
 Zone 2 (gaz et vapeurs)
 Note : L'intérieur des abîmes avec couverture définitive est classé zone 2, ce classement n'est pas représenté pour des questions de lisibilité

Note 1 : Le schéma de la torchère n'est pas à l'échelle des installations présentes sur site en particulier la distance entre les équipements. Les équipements inclus dans les zones ATEX proposées sont à valider sur site.
 Note 2 : Les zones ATEX représentées ici sont à dupliquer sur la deuxième torchère
 Note 3: L'intérieur du pot de purge (non représenté sur le schéma) est classé zone 2.

SODOMODE
 CETRAVAL
 ROUTE DE PONT-AUTHOU
 27800 MALLEVILLE SUR LE BEC

SAFENGY
 26-28 rue de Londres
 75009 Paris

CHASSE	DESS.	DATE
122020-61-05	CTH	23/12/20

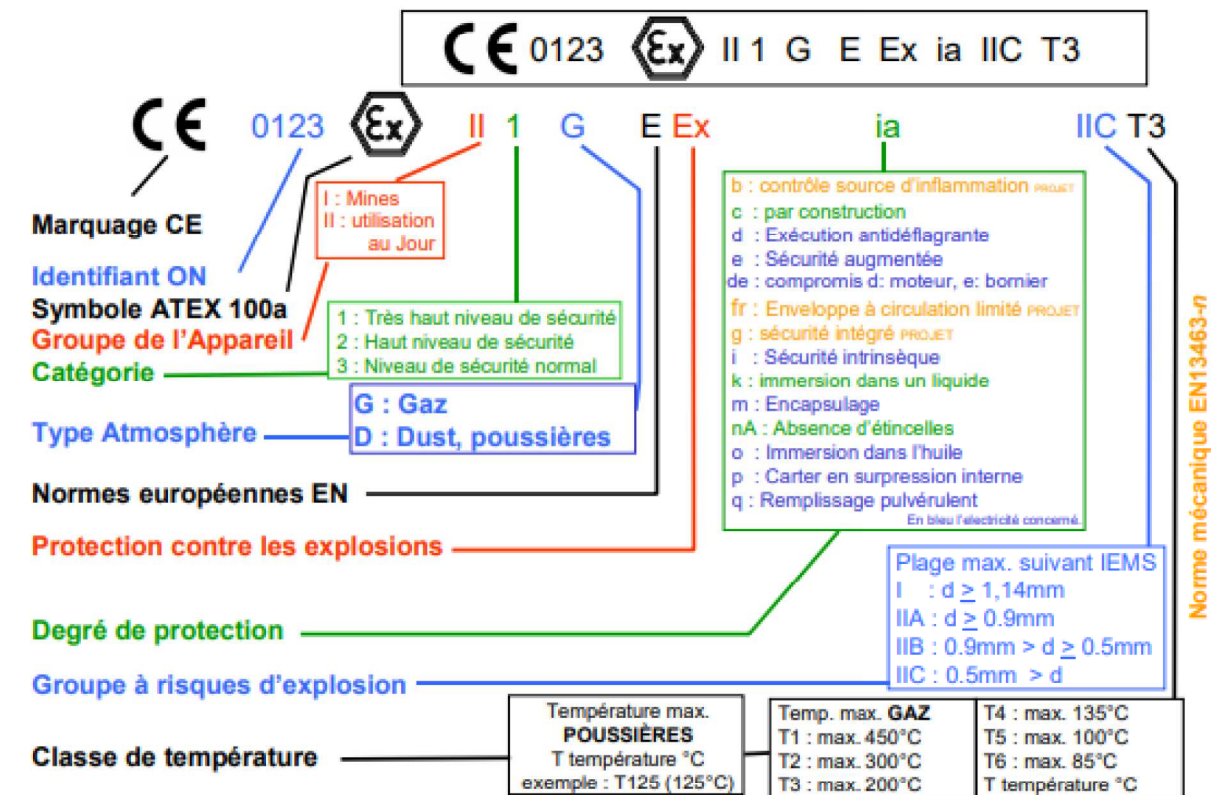
PLAN N°	DESIGNATION
00	Plan des zones ATEX

ANNEXE 3 : Aide au marquage du matériel ATEX

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)			
	Étude de zonage ATEX – Installation biogaz			Référence du document : REP-122020-061-05
				REVISION : 01

MARQUAGE DES APPAREILS ATEX

Identification



Marquage obligatoire				Marquage complémentaire		
Marquage CE	Marquage "ATEX"	Groupe d'appareil : I : mines II : appareils de surface	Catégorie d'appareil	Mode de protection	Classe de température	Degré d'étanchéité aux poussières
CE	Ex	II	2G	d	T4	IP65

Catégorie d'appareils

Type d'atmosphère	Gaz	Poussières	Gaz	Poussières	Gaz	Poussières
Zone	0	20	1	21	2	22
Catégorie d'appareils	1G	1D	2G	2D	3G	3D

Nota : certain appareils doivent être compatibles atmosphères gaz ET poussières. Le marquage doit alors être de type : "G/D".

Groupe de gaz

Les différents groupes de gaz utilisés sont décrits dans la norme NF EN 60079-10-1, et sont répartis comme suit :

		Groupes de gaz (et subdivision)	EMI (μJ)	IEMS (mm)
Groupe I Mines	Méthane	I	300	1.14
Groupe II Industries de surfaces	Propane	IIA	240	0.92
	Ethylène	IIB	70	0.65
	Acétylène	IIC	17	0.37
	Hydrogène		17	0.29

Tableau 6: Définition des groupes de gaz

Pour le groupe II, la dangerosité croît de la subdivision IIA (le moins dangereux) à la subdivision IIC (le plus dangereux).

Classes de température

La température de surface maximum est la température la plus haute qui est atteinte en service dans des conditions les plus défavorables par une partie ou une surface d'un équipement électrique, qui pourrait produire potentiellement une inflammation de l'atmosphère environnante.

Les appareils électriques de groupe II doivent être classés dans les classes de température données dans le tableau ci-dessous :

Classe de Température D'après l'NF EN 60079-4	Température de surface maximum (°C)
T1	450
T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	85

Tableau 7: Définition des classes de température

La température d'inflammation la plus basse des atmosphères explosives concernées doit être la température de surface maximum citée ci-dessus.

Densité du gaz

Pour des applications pratiques, un gaz ou une vapeur qui a une densité relative en-dessous de 0,8 est considéré comme étant plus léger que l'air (L). Si la densité relative est au-dessus de 1,2, il est considéré comme étant plus lourd que l'air (H). Entre ces valeurs, les deux possibilités doivent être considérées (API RP 505).

EACM

ANNEXE 6 – MODELISATION DES PHENOMENES DANGEREUX ASSOCIES AUX
CANALISATIONS ET PUIITS DE BIOGAZ – SAFENGY, 27/04/2021

Référence : REP-032021-061-08



SDOMODE- CETRAVAL Malleville-sur-le-Bec Modélisations phénomènes dangereux – Canalisations biogaz

Pour :



Date : 27/04/2021

Rédacteur : Manuel Balland

Vérificateur : Arnaud Vautier / Claire Thévenet

Approbateur : Arnaud Vautier

Feuille de révision

Rev	Description de la révision	Date	Détails des modifications
00	Première émission	01/04/2021	
01	Révision finale	13/04/2021	Commentaires du Client incorporés
02	Révision finale	27/04/2021	Commentaires du Client incorporés

Table des matières

1	Introduction	4
2	Abréviations	4
3	Documents de référence	4
4	Description des activités	5
4.1	Description générale	5
5	Méthodologie.....	6
5.1	Logiciel	6
5.2	Seuils de référence.....	6
5.3	Données météorologiques	6
6	Données d'entrée.....	7
6.1	Caractérisations des installations et du biogaz	7
6.1.1	Biogaz	7
6.1.2	Puits de captages	7
6.1.3	Canalisations biogaz	7
6.2	Phénomènes dangereux identifiés.....	7
6.3	Hypothèses.....	7
6.3.1	Hypothèses de modélisations	7
7	Résultats	8
7.1	Liste des scénarios modélisés	8
7.2	Canalisation de Biogaz	8
7.2.1	Rupture	8
7.2.2	Fuite	9
7.3	Puits de captage de Biogaz	10
7.3.1	Rupture	10
7.3.2	Fuite	11
8	Conclusion	12
	Annexe 1 – Fiches de modélisation	13
	Annexe 2 – Cartographie des phénomènes dangereux	20

1 Introduction

Dans le cadre de la mise en place de panneaux photovoltaïques sur son site CETRAVAL de Malleville-sur-le-Bec, le SDOMODE souhaite modéliser les phénomènes dangereux associés aux puits de captage et aux canalisations de biogaz présents le site.

L'objectif de ce rapport est la détermination des distances d'effets associés aux phénomènes dangereux qui pourraient intervenir sur le site.

Seules les installations suivantes sont concernées :

- Puits de captage ;
- Canalisations biogaz.

2 Abréviations

LIE	Limite Inférieure d'Explosivité
LII	Limite Inférieure d'Inflammabilité
LSE	Limite Supérieure d'Explosivité
PEHD	PolyEthylène Haute Densité
PPRT	Plan de Prévention des Risques Technologiques
SEI	Seuil des Effets Irréversibles
SEL	Seuil des Effets Létaux
SELS	Seuil des Effets Létaux Significatifs
UVCE	Unconfined Vapour Cloud Explosion

3 Documents de référence

La réalisation des modélisations des phénomènes dangereux est basée sur les référentiels suivants :

- Arrêté du 29 septembre 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 études de dangers des installations classées soumises à autorisation ;
- 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.

4 Description des activités

4.1 Description générale

Le SDOMODE est en charge de l'exploitation du CETRAVAL de Malleville-sur-le-Bec sur lequel est exploité une installation de stockage de déchets non dangereux et de déchets inertes avec installation de valorisation du biogaz issu de la décomposition des déchets fermentescibles.

Cette installation permet la production d'électricité qui est réinjectée sur le réseau d'électricité.

La fermentation des déchets engendre la production :

- De Biogaz : capté par des puits de captage et collecté via un réseau aérien pour être acheminé vers l'installation de valorisation ou les torchères ;
- De lixiviat : Collecté puis envoyé via un réseau vers un bassin pour être traité.

La collecte du biogaz et des lixiviats est réalisée via des réseaux séparés.

Le biogaz est d'abord purifié dans un filtre à charbon actif puis utilisé comme combustible dans 2 moteurs à combustion (cogénération) qui servent à la production de l'électricité et de chaleur.

La torchère est utilisée pour brûler le biogaz à 1 000°C en cas d'arrêt technique de l'unité de valorisation énergétique.

Trois torchères sont présentes sur le site, seules deux sont fonctionnelles. Ces torchères sont utilisées en secours, chaque torchère est équipée en amont de son propre dévésiculeur et surpresseur.

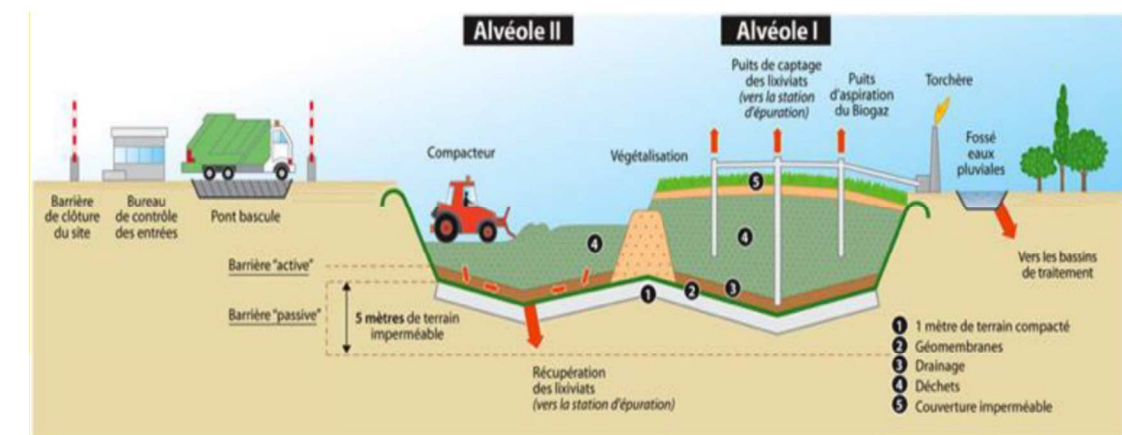


Figure 1 : Schéma des activités du site

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Modélisations de phénomènes dangereux – Canalisations biogaz	Référence du document : REP-032021-061-08	
		REVISION : 02	

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Modélisations de phénomènes dangereux – Canalisations biogaz	Référence du document : REP-032021-061-08	
		REVISION : 02	

5 Méthodologie

5.1 Logiciel

Pour évaluer la portée des effets dangereux des scénarios associés aux puits de captage et aux canalisations de biogaz présents le site, le logiciel PHAST développé par la société DNV a été utilisé.

5.2 Seuils de référence

Conformément à l'arrêté du 29 septembre 2005 et à la circulaire du 10 mai 2010, les seuils de références utilisés pour les modélisations sont :

- ✎ Effets de surpression :
 - 50 hPa ou mbar, seuils des effets irréversibles (SEI) délimitant la zone des dangers significatifs pour la vie humaine,
 - 140 hPa ou mbar, seuil des effets létaux (SEL) délimitant la zone des dangers graves pour la vie humaine,
 - 200 hPa ou mbar, seuil des effets létaux significatifs (SELS) délimitant la zone des dangers très graves pour la vie humaine.
- ✎ Effets thermiques, dans le cas d'un nuage de gaz conformément à la circulaire du 10 mai 2010 :
 - 1,1 x distance à la LII, seuil des effets irréversibles (SEI) délimitant la zone des dangers significatifs pour la vie humaine,
 - distance à la LII, seuil des premiers effets létaux (SEL) délimitant la zone des dangers graves pour la vie humaine,
 - distance à la LII, seuil des effets létaux significatifs (SELS) délimitant la zone des dangers très graves pour la vie humaine.

5.3 Données météorologiques

Conformément à la circulaire du 10 mai 2010, les conditions météorologiques prises en compte dans le cadre des modélisations sont :

- ✎ Rejet horizontal :
 - Classe de Pasquill D (neutre) et vitesse de vent de 5 m/s,
 - Classe de Pasquill F (très stable) et vitesse de vent de 3 m/s ;
- ✎ Rejet vertical :
 - Classe de Pasquill D (neutre) et vitesse de vent de 5 m/s,
 - Classe de Pasquill F (très stable) et vitesse de vent de 3 m/s ;
 - Classe de Pasquill A (très instable) et vitesse de vent de 3 m/s,
 - Classe de Pasquill B (instable) et vitesse de vent de 3 m/s et 5 m/s.

6 Données d'entrée

6.1 Caractérisations des installations et du biogaz

6.1.1 Biogaz

La composition du biogaz en % volumique est détaillée dans le tableau ci-dessous :

Composition	CH ₄	O ₂	CO ₂	N ₂	H ₂ S	H ₂
Biogaz	51,74%	2,46%	33,31%	12,00%	0,44%	0,05%

Les limites inférieures et supérieures d'explosivité (LIE et LSE), mentionnées dans les fiches de modélisation, seront calculées par le software PHAST. Il n'y a pas de différence entre LII et LIE ; dans les 2 cas il s'agit de limites de propagation d'une flamme.

6.1.2 Puits de captages

- ✎ Diamètre : 1 m ;
- ✎ Pression de service : -6 à -1 mbar ; une pression de 0,01 bar est considéré pour le logiciel PHAST étant donné qu'il n'est pas possible de modéliser une canalisation sous dépression
- ✎ Température de service : ambiante à 15 °C ;
- ✎ Canalisation PEHD.

6.1.3 Canalisations biogaz

- ✎ Diamètre : DN 160 ;
- ✎ Pression de service : -6 à -1 mbar ; une pression de 0,01 bar est considéré pour le logiciel PHAST étant donné qu'il n'est pas possible de modéliser une canalisation sous dépression
- ✎ Température de service : ambiante à 15°C ;
- ✎ Canalisation PEHD.

6.2 Phénomènes dangereux identifiés

Le phénomène dangereux associé à la rupture ou à la fuite des équipements est le phénomène d'Unconfined Vapour Cloud Explosion (UVCE) engendrant des effets thermiques et de surpression.



Le phénomène de jet enflammé n'est pas considéré pour cette étude ; les systèmes étudiés sont en dépression (suppression de 1 à 6 mbar) par rapport à la pression atmosphérique.

6.3 Hypothèses



6.3.1 Hypothèses de modélisations

Les hypothèses de modélisation sont les suivantes :

- ✎ Rupture : 100% du diamètre ;
- ✎ Taille de la Brèche :
 - 25 mm selon la circulaire du 10 mai 2010 pour une canalisation aérienne ;
 - 12 mm selon la circulaire du 10 mai 2010 pour une canalisation enterrée (cas du puits de captage) ;

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)			
	Modélisations de phénomènes dangereux – Canalisations biogaz			Référence du document : REP-032021-061-08
				REVISION : 02

- Direction du rejet :
 - Rejet horizontal pour la canalisation,
 - Rejet vertical pour le puits de captage ;
- Quantité maximale rejetées :
 - Contenu du réseau biogaz pour un linéaire d'environ 1100 m correspondant à un volume de 22m³ de gaz ;
 - Contenu de la tuyauterie du puits de captage correspondant à un volume de 7,1 m³ de gaz (profondeur moyenne d'un puits de captage de 9 m).

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)			
	Modélisations de phénomènes dangereux – Canalisations biogaz			Référence du document : REP-032021-061-08
				REVISION : 02

- Portée des effets de surpression

Conditions météorologiques	Distance des effets (m)		
	SEI	SEL	SELS
	50 mbar	140 mbar	200 mbar
3 / F	N/A	N/A	N/A
5 / D	N/A	N/A	N/A

N/A : Non Atteint

Les distances d'effets les plus importantes pour les effets thermiques sont observées pour la configuration météorologique 3 / F.

Synthèse

Il n'est pas attendu que le phénomène dangereux d'UVCE lié à la rupture de la canalisation aérienne de Biogaz présente des effets à l'extérieur du site.

Le risque lié à ce scénario est jugé acceptable.

7.2.2 Fuite

La modélisation d'une fuite de 25 mm sur la canalisation de Biogaz donne les résultats suivants pour le phénomène d'UVCE :

- Portée des effets thermiques

Conditions météorologiques	Distance des effets (m)	
	SEI	SEL & SELS
	1,1 x distance LIE	Distance LIE
3 / F	2,9	2,6
5 / D	2,8	2,5

- Portée des effets de surpression

Conditions météorologiques	Distance des effets (m)		
	SEI	SEL	SELS
	50 mbar	140 mbar	200 mbar
3 / F	N/A	N/A	N/A
5 / D	N/A	N/A	N/A

N/A : Non Atteint

7 Résultats

7.1 Liste des scénarios modélisés

Les différents scénarios d'accidents sont listés dans le tableau ci-dessous :

N° Fiche	Désignation		Phénomènes dangereux		Types d'effets
			N°	Désignation	
01	Canalisations Biogaz	Rupture catastrophique	Canalisations_rupture_UVCE	UVCE	Thermiques / Surpression
02	Canalisations Biogaz	Fuite 25 mm	Canalisations_brèche_UVCE	UVCE	Thermiques / Surpression
03	Puits de captage Biogaz	Rupture catastrophique	Puits_rupture_UVCE	UVCE	Thermiques / Surpression
04	Puits de captage Biogaz	Fuite 12 mm	Puits_brèche_UVCE	UVCE	Thermiques / Surpression

Les fiches de modélisations en Annexe 1 présentent les hypothèses prises en compte pour chaque scénario ainsi que les résultats.

7.2 Canalisation de Biogaz

7.2.1 Rupture

La modélisation de la rupture d'une canalisation de Biogaz donne les résultats suivants pour le phénomène d'UVCE :

- Portée des effets thermiques

Conditions météorologiques	Distance des effets (m)	
	SEI	SEL & SELS
	1,1 x distance LIE	Distance LIE
3 / F	8,7	7,9
5 / D	6,6	6,0

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Modélisations de phénomènes dangereux – Canalisations biogaz	Référence du document : REP-032021-061-08	
		REVISION : 02	

Les distances d'effets les plus importantes pour les effets thermiques sont observées pour la configuration météorologique 3 / F.

Synthèse

Il n'est pas attendu que le phénomène dangereux d'UVCE lié à une fuite de 25 mm sur la canalisation aérienne de Biogaz présente des effets à l'extérieur du site.

Le risque lié à ce scénario est jugé acceptable.

7.3 Puits de captage de Biogaz

7.3.1 Rupture

La modélisation de la rupture d'un puits de captage de Biogaz donne les résultats suivants pour le phénomène d'UVCE :

- Portée des effets thermiques

Conditions météorologiques	Distance des effets (m)	
	SEI	SEL & SELS
	1,1 x distance LIE	Distance LIE
3 / F	N/A	N/A
5 / D	N/A	N/A
3 / A	N/A	N/A
3 / B	N/A	N/A
5 / B	N/A	N/A

N/A : Non Atteint

- Portée des effets de surpression

Conditions météorologiques	Distance des effets (m)		
	SEI	SEL	SELS
	50 mbar	140 mbar	200 mbar
3 / F	N/A	N/A	N/A
5 / D	N/A	N/A	N/A
3 / A	N/A	N/A	N/A
3 / B	N/A	N/A	N/A
5 / B	N/A	N/A	N/A

N/A : Non Atteint

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Modélisations de phénomènes dangereux – Canalisations biogaz	Référence du document : REP-032021-061-08	
		REVISION : 02	

Synthèse

Il n'est pas attendu que le phénomène dangereux d'UVCE lié à la rupture d'un puits de captage de Biogaz présente des effets à l'extérieur du site.

Le risque lié à ce scénario est jugé acceptable.

7.3.2 Fuite

La modélisation d'une fuite de 12 mm sur un puits de captage de Biogaz donne les résultats suivants pour le phénomène d'UVCE :

- Portée des effets thermiques

Conditions météorologiques	Distance des effets (m)	
	SEI	SEL & SELS
	1,1 x distance LIE	Distance LIE
3 / F	N/A	N/A
5 / D	N/A	N/A
3 / A	N/A	N/A
3 / B	N/A	N/A
5 / B	N/A	N/A

N/A : Non Atteint

- Portée des effets de surpression



Conditions météorologiques	Distance des effets (m)		
	SEI	SEL	SELS
	50 mbar	140 mbar	200 mbar
3 / F	N/A	N/A	N/A
5 / D	N/A	N/A	N/A
3 / A	N/A	N/A	N/A
3 / B	N/A	N/A	N/A
5 / B	N/A	N/A	N/A

N/A : Non Atteint

Synthèse

Il n'est pas attendu que le phénomène dangereux d'UVCE lié à une fuite de 12 mm d'un puits de captage de Biogaz présente des effets à l'extérieur du site.



Le risque lié à ce scénario est jugé acceptable.

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Modélisations de phénomènes dangereux – Canalisations biogaz	Référence du document : REP-032021-061-08	
		REVISION : 02	

8 Conclusion

Les modélisations réalisées avec le logiciel PHAST montrent que le phénomène le plus dangereux est un phénomène d'UVCE d'une canalisation de Biogaz suite à une rupture (source d'ignition et libération du Biogaz instantanément dans l'atmosphère).

Ce phénomène d'UVCE est représenté sur une cartographie (voir Annexe 2) .

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Modélisations de phénomènes dangereux – Canalisations biogaz	Référence du document : REP-032021-061-08	
		REVISION : 02	

Annexe 1 – Fiches de modélisation

Calcul des distances d'effets dangereux – Fiche de référence n° 01		
Caractéristiques du scénario d'accident		
Scénario d'accident	Rupture de la canalisation biogaz	
Référence		
Phénomène dangereux	UVCE	
Types d'effets	Surpression et thermiques	
Méthode de calcul	Dispersion atmosphérique de gaz inflammable – Modèle intégral (PHAST)	
	Dimensionnement des effets de pression selon la méthode MultiEnergy	
	Dimensionnement des effets thermiques selon la circulaire française du 10/05/10 (prise en compte de la distance à la LII)	
Données sources / hypothèses de modélisation		
Produit dangereux	Biogaz	
Limite inférieur d'explosivité (%)	8,5 (calculée par PHAST)	
Limite supérieur d'explosivité (%)	32 (calculée par PHAST)	
Diamètre canalisation (mm)	160	
Longueur canalisation (m)	1100	
Hauteur canalisation (m)	0	
Température de service (°C)	15	
Pression de service (mbar)	-6 à -1	
Type de fuite	rupture 100%	
Volume maximum déversé	22 m3 (volume max présent dans le réseau de canalisation)	
Durée de fuite (s)	inintermittible jusqu'à vidange du réseau	
Direction du rejet	Horizontal (cas majorant)	
Indice multi-energy	5 (source: Yellow book TNO, table 5.3)	
Résultats		
Conditions météorologiques	3 / F	5 / D
Seuil d'effets thermiques	Distance d'effets associée (en m)	Distance d'effets associée (en m)
SEI : 1,1 x distance LIE	8,7	6,6
SEL & SELS : distance LIE	7,9	6,0
Seuils d'effets surpression	Distance d'effets associée (en m)	Distance d'effets associée (en m)
SEI : 50 mbar	N/A	N/A
SEL : 140 mbar	N/A	N/A
SELS : 200 mbar	N/A	N/A

Calcul des distances d'effets dangereux – Fiche de référence n° 02		
Caractéristiques du scénario d'accident		
Scénario d'accident	Fuite sur la canalisation biogaz	
Référence		
Phénomène dangereux	UVCE	
Types d'effets	Surpression et thermiques	
Méthode de calcul	Dispersion atmosphérique de gaz inflammable – Modèle intégral (PHAST)	
	Dimensionnement des effets de pression selon la méthode MultiEnergy	
	Dimensionnement des effets thermiques selon la circulaire française du 10/05/10 (prise en compte de la distance à la LII)	
Données sources / hypothèses de modélisation		
Produit dangereux	Biogaz	
Limite inférieur d'explosivité (%)	8,5 (calculée par PHAST)	
Limite supérieur d'explosivité (%)	32 (calculée par PHAST)	
Diamètre canalisation (mm)	160	
Longueur canalisation (m)	1100	
Hauteur canalisation (m)	0	
Température de service (°C)	15	
Pression de service (mbar)	-6 à -1	
Type de fuite	brèche 25 mm	
Volume maximum déversé	22 m3 (volume max présent dans le réseau de canalisation)	
Durée de fuite (s)	inintermittible jusqu'à vidange du réseau	
Direction du rejet	Horizontal (cas majorant)	
Indice multi-energy	5 (source: Yellow book TNO, table 5.3)	
Résultats		
Conditions météorologiques	3 / F	5 / D
Seuil d'effets thermiques	Distance d'effets associée (en m)	Distance d'effets associée (en m)
SEI : 1,1 x distance LIE	2,9	2,8
SEL & SELS : distance LIE	2,6	2,5
Seuils d'effets surpression	Distance d'effets associée (en m)	Distance d'effets associée (en m)
SEI : 50 mbar	N/A	N/A
SEL : 140 mbar	N/A	N/A
SELS : 200 mbar	N/A	N/A

Calcul des distances d'effets dangereux – Fiche de référence n° 03		
Caractéristiques du scénario d'accident		
Scénario d'accident	Rupture du puits de captage	
Référence		
Phénomène dangereux	UVCE	
Types d'effets	Surpression et thermiques	
Méthode de calcul	Dispersion atmosphérique de gaz inflammable – Modèle intégral (PHAST)	
	Dimensionnement des effets de pression selon la méthode MultiEnergy	
	Dimensionnement des effets thermiques selon la circulaire française du 10/05/10 (prise en compte de la distance à la LII)	
Données sources / hypothèses de modélisation		
Produit dangereux	Biogaz	
Limite inférieur d'explosivité (%)	8,5 (calculée par PHAST)	
Limite supérieur d'explosivité (%)	32 (calculée par PHAST)	
Diamètre canalisation (mm)	1000	
Longueur canalisation (m)	9 m (hauteur moyenne)	
Hauteur canalisation (m)	0	
Température de service (°C)	15	
Pression de service (mbar)	-6 à -1	
Type de fuite	rupture 100%	
Volume maximum déversé	7,1 m3	
Durée de fuite (s)	inintermittible jusqu'à vidange du réseau	
Direction du rejet	Vertical	
Indice multi-energy	5 (source: Yellow book TNO, table 5.3)	
Résultats		
Conditions météorologiques	3 / F	5 / D
Seuil d'effets thermiques	Distance d'effets associée (en m)	Distance d'effets associée (en m)
SEI : 1,1 x distance LIE	N/A	N/A
SEL & SELS : distance LIE	N/A	N/A
Seuils d'effets surpression	Distance d'effets associée (en m)	Distance d'effets associée (en m)
SEI : 50 mbar	N/A	N/A
SEL : 140 mbar	N/A	N/A
SELS : 200 mbar	N/A	N/A
Conditions météorologiques	3 / A	3 / B
Seuil d'effets thermiques	Distance d'effets associée (en m)	Distance d'effets associée (en m)
SEI : 1,1 x distance LIE	N/A	N/A
SEL & SELS : distance LIE	N/A	N/A

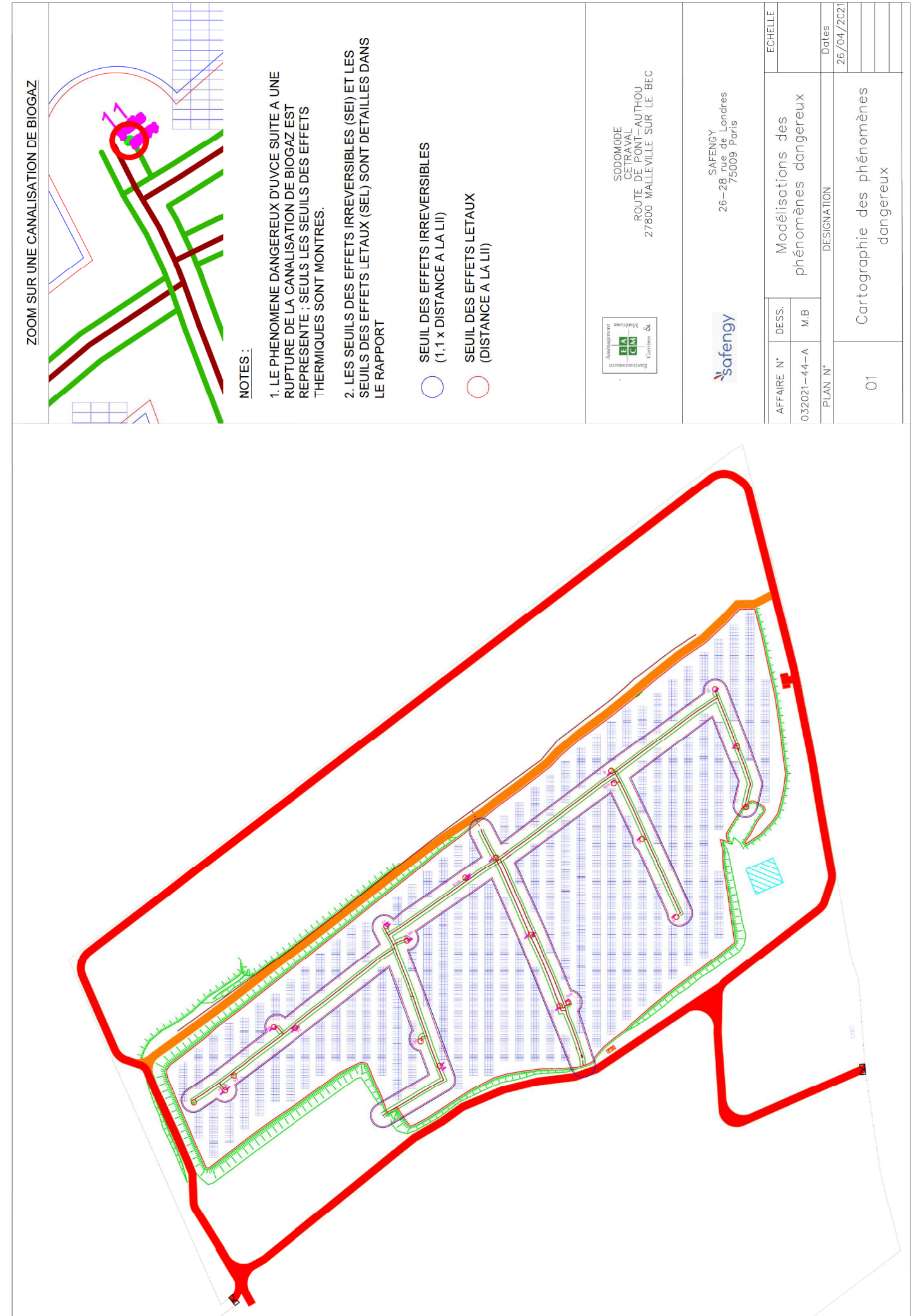
Seuils d'effets surpression	Distance d'effets associée (en m)	Distance d'effets associée (en m)
SEI : 50 mbar	N/A	N/A
SEL : 140 mbar	N/A	N/A
SELS : 200 mbar	N/A	N/A
Conditions météorologiques	5 / B	
Seuil d'effets thermiques	Distance d'effets associée (en m)	
SEI : 1,1 x distance LIE	N/A	
SEL & SELS : distance LIE	N/A	
Seuils d'effets surpression	Distance d'effets associée (en m)	
SEI : 50 mbar	N/A	
SEL : 140 mbar	N/A	
SELS : 200 mbar	N/A	

Calcul des distances d'effets dangereux – Fiche de référence n° 04		
Caractéristiques du scénario d'accident		
Scénario d'accident	Fuite sur puits de captage	
Référence		
Phénomène dangereux	UVCE	
Types d'effets	Surpression et thermiques	
Méthode de calcul	Dispersion atmosphérique de gaz inflammable – Modèle intégral (PHAST)	
	Dimensionnement des effets de pression selon la méthode MultiEnergy	
	Dimensionnement des effets thermiques selon la circulaire française du 10/05/10 (prise en compte de la distance à la LII)	
Données sources / hypothèses de modélisation		
Produit dangereux	Biogaz	
Limite inférieur d'explosivité (%)	8,5 (calculée par PHAST)	
Limite supérieur d'explosivité (%)	32 (calculée par PHAST)	
Diamètre canalisation (mm)	1000	
Longueur canalisation (m)	9 m (hauteur moyenne)	
Hauteur canalisation (m)	0	
Température de service (°C)	15	
Pression de service (mbar)	-6 à -1	
Type de fuite	brèche 12 mm	
Volume maximum déversé	7,1 m3	
Durée de fuite (s)	ininterrompue jusqu'à vidange du réseau	
Direction du rejet	Vertical	
Indice multi-energy	5 (source: Yellow book TNO, table 5.3)	
Résultats		
Conditions météorologiques	3 / F	5 / D
Seuil d'effets thermiques	Distance d'effets associée (en m)	Distance d'effets associée (en m)
SEI : 1,1 x distance LIE	N/A	N/A
SEL & SELS : distance LIE	N/A	N/A
Seuils d'effets surpression	Distance d'effets associée (en m)	Distance d'effets associée (en m)
SEI : 50 mbar	N/A	N/A
SEL : 140 mbar	N/A	N/A
SELS : 200 mbar	N/A	N/A
Conditions météorologiques	3 / A	3 / B
Seuil d'effets thermiques	Distance d'effets associée (en m)	Distance d'effets associée (en m)
SEI : 1,1 x distance LIE	N/A	N/A
SEL & SELS : distance LIE	N/A	N/A
Seuils d'effets surpression	Distance d'effets associée (en m)	Distance d'effets associée (en m)

SEI : 50 mbar	N/A	N/A
SEL : 140 mbar	N/A	N/A
SELS : 200 mbar	N/A	N/A
Conditions météorologiques	5 / B	
Seuil d'effets thermiques	Distance d'effets associée (en m)	
SEI : 1,1 x distance LIE	N/A	
SEL & SELS : distance LIE	N/A	
Seuils d'effets surpression	Distance d'effets associée (en m)	
SEI : 50 mbar	N/A	
SEL : 140 mbar	N/A	
SELS : 200 mbar	N/A	

	SDOMODE : Site CETRAVAL – Malleville-sur-le-Bec (27)		
	Modélisations de phénomènes dangereux – Canalisations biogaz	Référence du document : REP-032021-061-08	
		REVISION : 02	

Annexe 2 – Cartographie des phénomènes dangereux



ANNEXE 7 : ETUDES D'ARRACHEMENT

DIFFUSION DE DOCUMENT																					
ENTREPRISES		INDICE DE DIFFUSION								ENTREPRISES		INDICE DE DIFFUSION									
		O	A	B	C	D	E	F	G	H			O	A	B	C	D	E	F	G	H
SIEGE		6/11/12	3/12																		

S.I.E.G.E	SIEGE 12 Rue Concorde 27930 Guichainville Tel: 02 32 39 82 00
------------------	---

Centrale Photovoltaïque de CETRAVAL
à Malleville sur le bec (27)
IMPLANTATION SOMMAIRE ET DESCENTE DE CHARGES

IND.	DATE	COMMENTAIRES	DESS. PAR	VISA	VERIF. PAR	VISA
A	3/12/2020	Mise à jour				
0	6/11/2020	EMISSION ORIGINALE	A.NGUYEN	A.N		

ARMORIQUE ETUDES

14bis, Place Chateaubriand 35120 DOL DE BRETAGNE armoriqueetudes@wanadoo.fr	Tél. : +33 (0)2. 99.80.94.73 Fax : +33 (0)2. 99.80.94.76	AFFAIRE N°	PLAN N°	REV :
		AM 2048	Cal 01	0 1
		ECH :		

NOTE DE SYNTHÈSE

Référence de Chantier : Centrale Photovoltaïque de CETRAVAL

Lieu d'utilisation: Malleville sur le bec (27)

I. CHANTIER REFERENCE

Il s'agit d'un support de panneau solaire reposé sur longrine en béton. La dimension de la structure (3V9) est de 6.09m de large et 9.24m de long. Il se compose de 2 portiques espacés de 5.6m.

Les documents techniques nécessaires (Module de panneau, plan topographique) sont fournis par S.I.E.G.E

II. OBJET DE L'ETUDE

L'étude des pressions du vent sur panneaux solaires et structures et l'évaluation de descente de charges en pieds de structure selon le plan topographique. Cela permettra de dimensionner les fondations et les lestages nécessaires en fonction d'implantation des tables pour supporter les charges climatiques en vigueur.

III. BASE DE L'ETUDE

Les documents techniques fournis par S.I.E.G.E

IV. ETUDE DES CHARGES APPLIQUEES SUR STRUCTURES

1 Plans de principe de structure :

Le portique de support se compose deux montants et une diagonale pour assurer la stabilité transversale.

Les 2 portiques sont espacés de 5.6m et éventuellement rajouter des diagonales suivant l'axe des montants pour la stabilité longitudinale.

2 Etudes de vitesse de vent et pression induite:

A noter que les règles Eurocodes 1 en vigueur précisent la vitesse et pression générale de vent sur site (vent région 2 site d'exposition IIIa)

Cela induit : une pression de vent normale $Q_p=68.8 \text{ daN/m}^2$

une pression de vent extrême $Q_p*1.5= 103.2 \text{ daN/m}^2$

et une vitesse de vent extrême $V_{ext}= 41 \text{ m/s} = 148 \text{ km/h}$

Mais la présente étude se doit d'aller plus précisément et cartographie les pressions de vent plus fortes localement induites par la topographie du site.

En effet les reliefs du site peuvent accélérer le vent localement et donc produire des pressions supérieures localement à la pression de vent globale balayant le site.

Ci-après pages 4 et 9 du présent document AM2048 cal 01

Les coefficients $C_0^2 * \Psi_{mc}$ multiplicateurs de pression Q_p s'appliquent localement.

V. CONCLUSION

La présente étude démontre que pour le vent maximal qui pourrait être observé sur le site de 148 km/h , soit :

- la pression de soulèvement maximum sur les panneaux solaires serait localement de 458 daN/m²
- la pression de compression maximum sur les panneaux solaires serait localement de 362 daN/m²
(Charges pondérées ELU maxi)

Pour éviter tout risque d'arrachement, la fixation des panneaux mise en œuvre lors de la construction de la centrale devra supporter ces pressions de soulèvement et de compression .

Chantier: Centrale photovoltaïque de CETRAVAL à Malleville sur le bec
dimensions 6.09m * 9.24m (3H9)

I-1 REGLEMENTS :

Les Études seront conduites suivant les règlements en vigueur :

- * EUROCODES 0 (pondérations), EUROCODES 1 (charges et surcharges),
- * EUROCODES 3 (acier) ; EUROCODES 9 (Aluminium)
- * EUROCODES 7 (géotechnique)
- * Normes AFNOR et DTU en vigueur

I-2 CHARGES ET SURCHARGES :

A- CHARGES PERMANENTES :

Panneaux solaires.....	12 daN/m ²
Contreventements et divers de fixation.....	3 daN/m ²
Rails supports de panneaux solaires.....	6 daN/m ²
Pannes.....	6 daN/m ²
Poteaux.....	3 daN/m ²

B- NEIGE : Région A1 (Malleville sur le bec (27) – altitude < 200m) : $S_k = 45 \text{ daN/m}^2$

pente de toiture $\alpha = 20^\circ \rightarrow \mu_1 = 0.8$

Soit, neige normale: $S_n = \mu_1 * S_k = 0.8 * 45 = 36 \text{ daN/m}^2$

C- VENT : Région 2 (Département 27), catégorie de rugosité du terrain IIIa : $v_{b,0} = 24 \text{ m/s}$

Hauteur de référence = 2.98m,

La durée de vie < 25 ans $\rightarrow C_{prop} = 0.97 ; \rightarrow V_b = 0.97 * 24 = 23.28 \text{ m/s}$

$q_b(z) = C_e(z) * q_b = 68.80 \text{ daN/m}^2$

Et vitesse maxi probable : $V_{max} = \sqrt{68.80 * 1.5 * 16.3} * \frac{3600}{1000} = 148 \text{ km/h}$

NOTA : Effort de vent et de neige x 0.9 (pour prise en compte de structure de classe de risque CC1) pour les calculs en contrainte (ELU) des éléments de structures.

D- SEISME : Sans objet. (zone de sismicité 1(très faible), ouvrage de catégorie I)

I-3 MATERIAUX :

A1 - Acier S-355 : Contraintes normales=35.5 daN/mm² (ELU),
 Densité =7850 kg/m³ ; $E_f=2100000 \text{ daN/cm}^2$

A2 - Acier galva 8-8 : $F_u = 80 \text{ daN/mm}^2$ (autre boulons),

A3 - Acier galva A2-80 : $F_u = 80 \text{ daN/mm}^2$ (boulons diamètre =8mm)

I-4 FLECHES ADMISSIBLES :

Déviations angulaires de 1.2° maximum par panneau.

Ou Flèches des structures de panneaux solaires : 1/100° de portée ou hauteur
 (en l'absence de calculs de déformations angulaires)

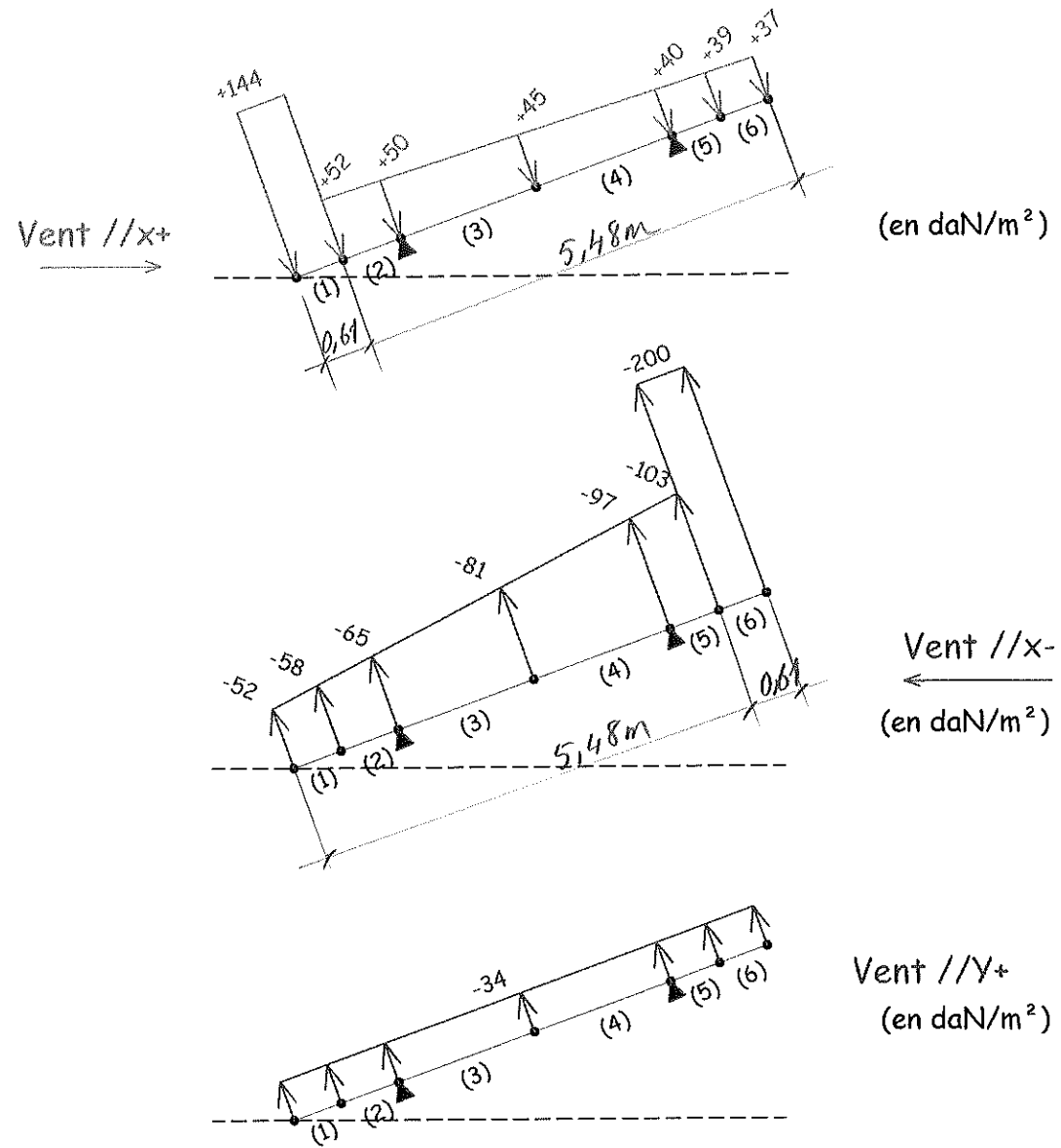
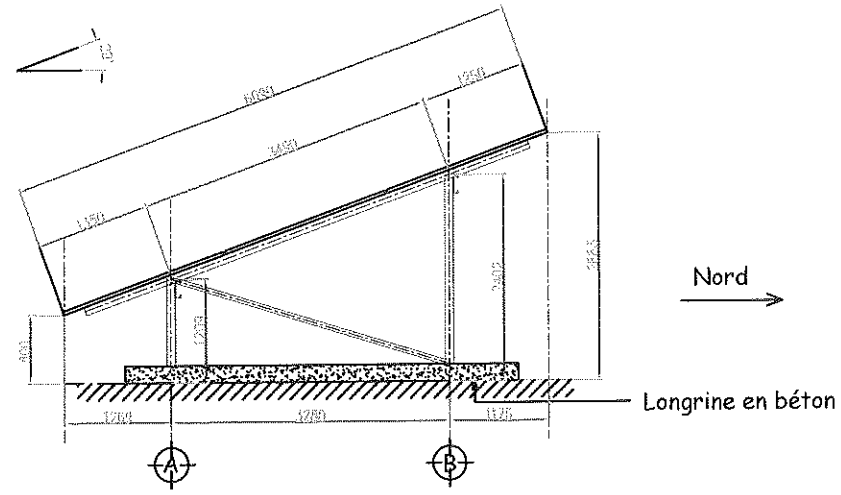
I-5 PRINCIPE DE STABILITES et CONTREVENTEMENTS DES OUVRAGES :

RIGIDITE dans le plan de panneaux solaires assurée par des contreventements.

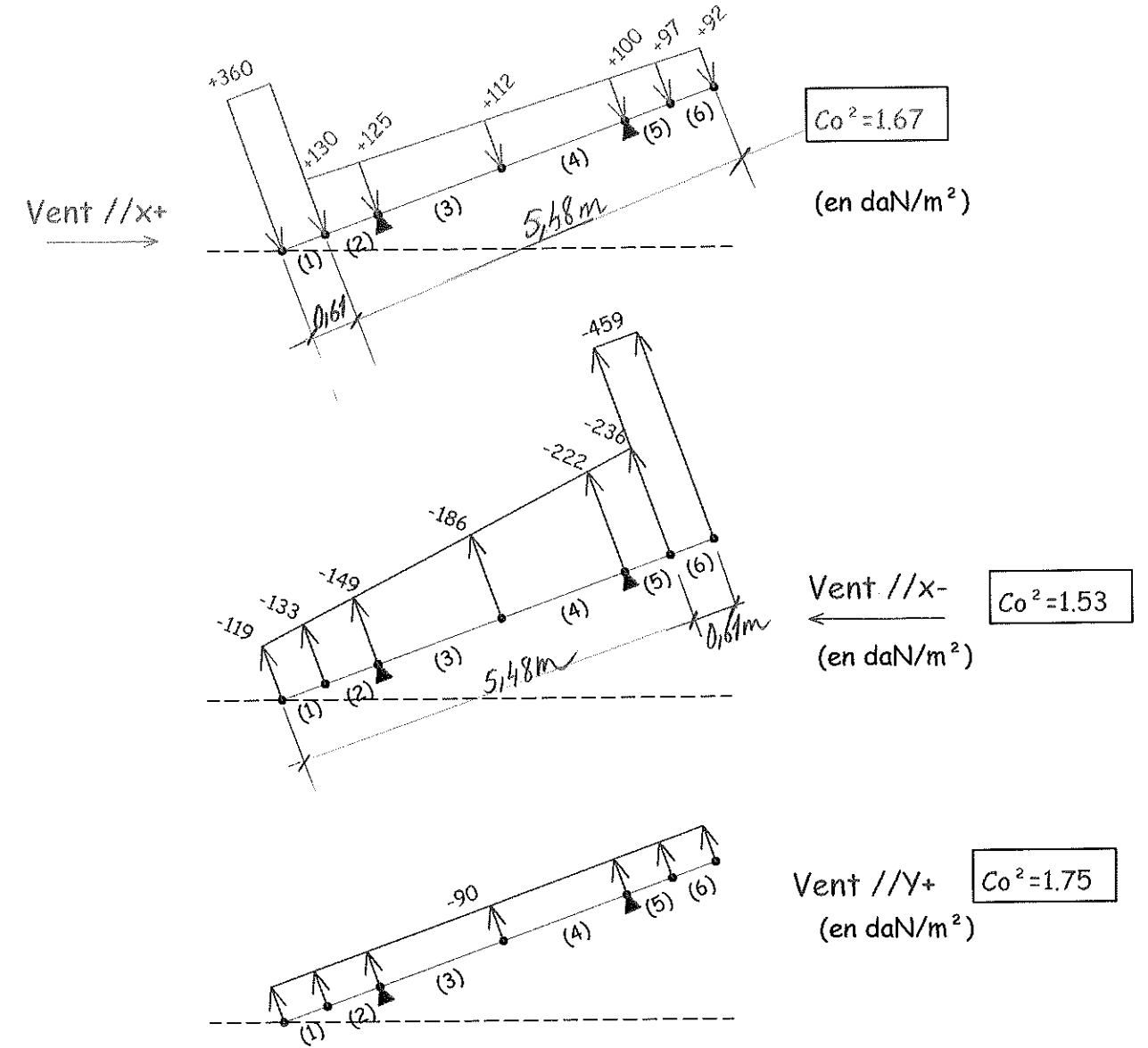
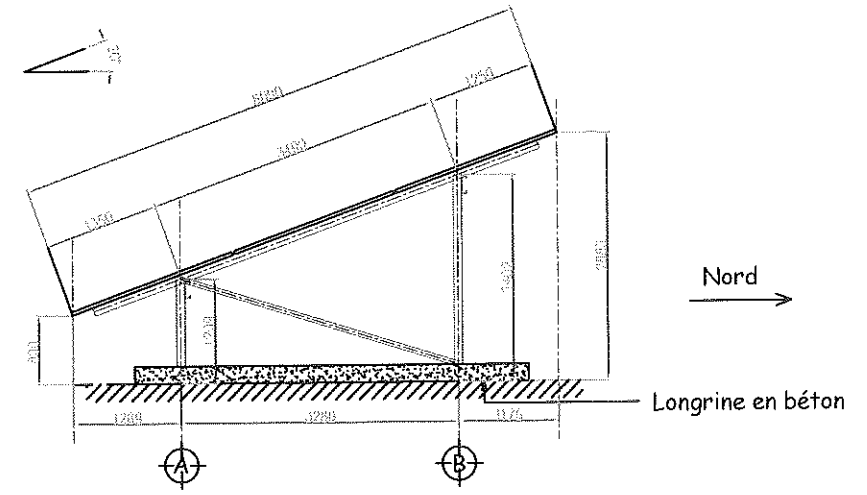
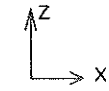
STABILITES TRANSVERSALE assurées par les portiques avec des poteaux articulés en pieds, posés sur longrine.

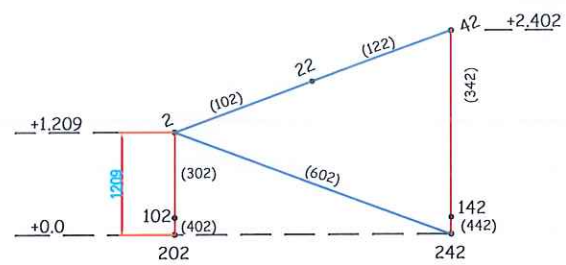
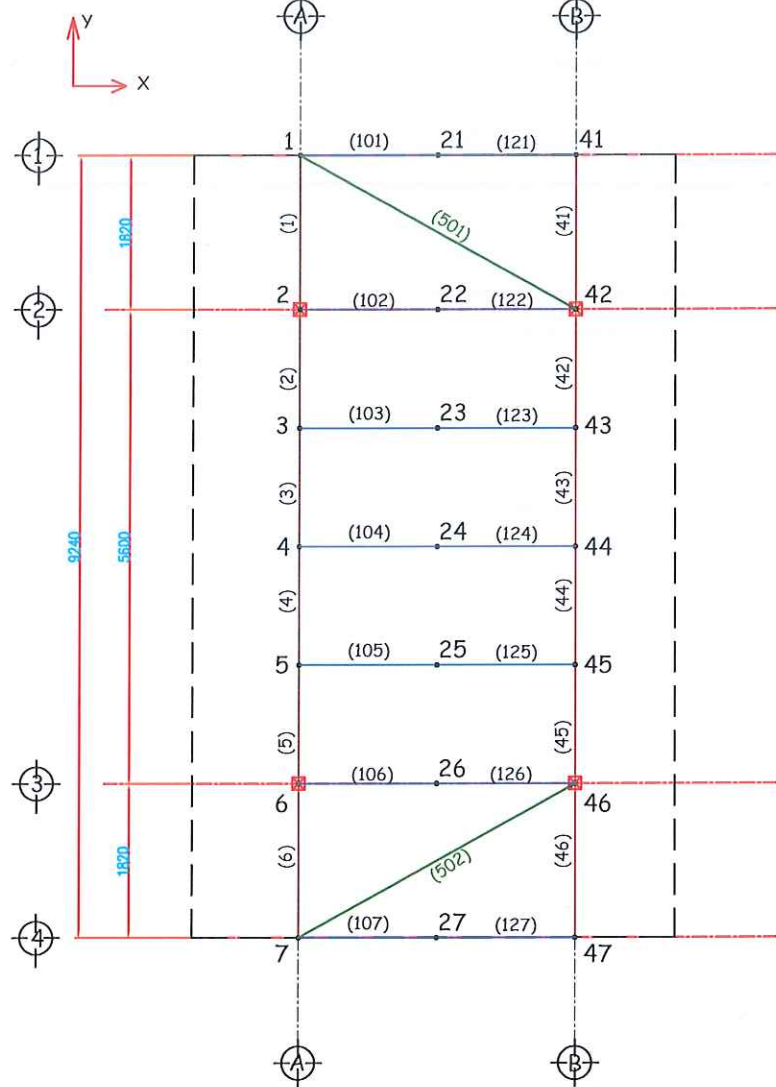
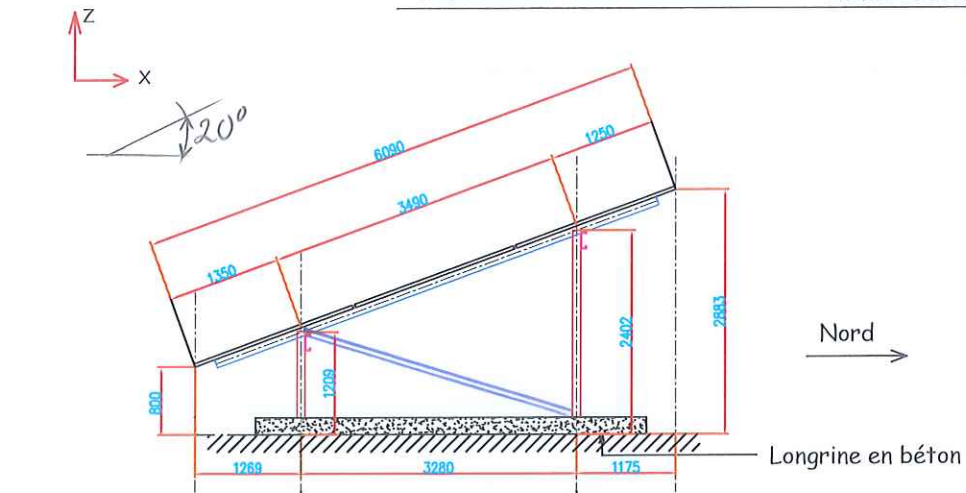
STABILITES LONGITUDINALES assurées par les diagonales de stabilité.

PRESSION DU VENT en daN/m²
(Vent normal NON pondéré)

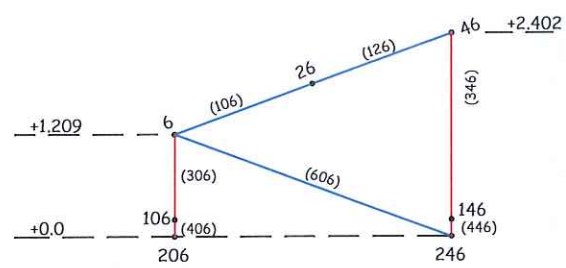


PRESSION DU VENT en daN/m²
(Vent extrême = Vent normal * 1.5 * Co²)

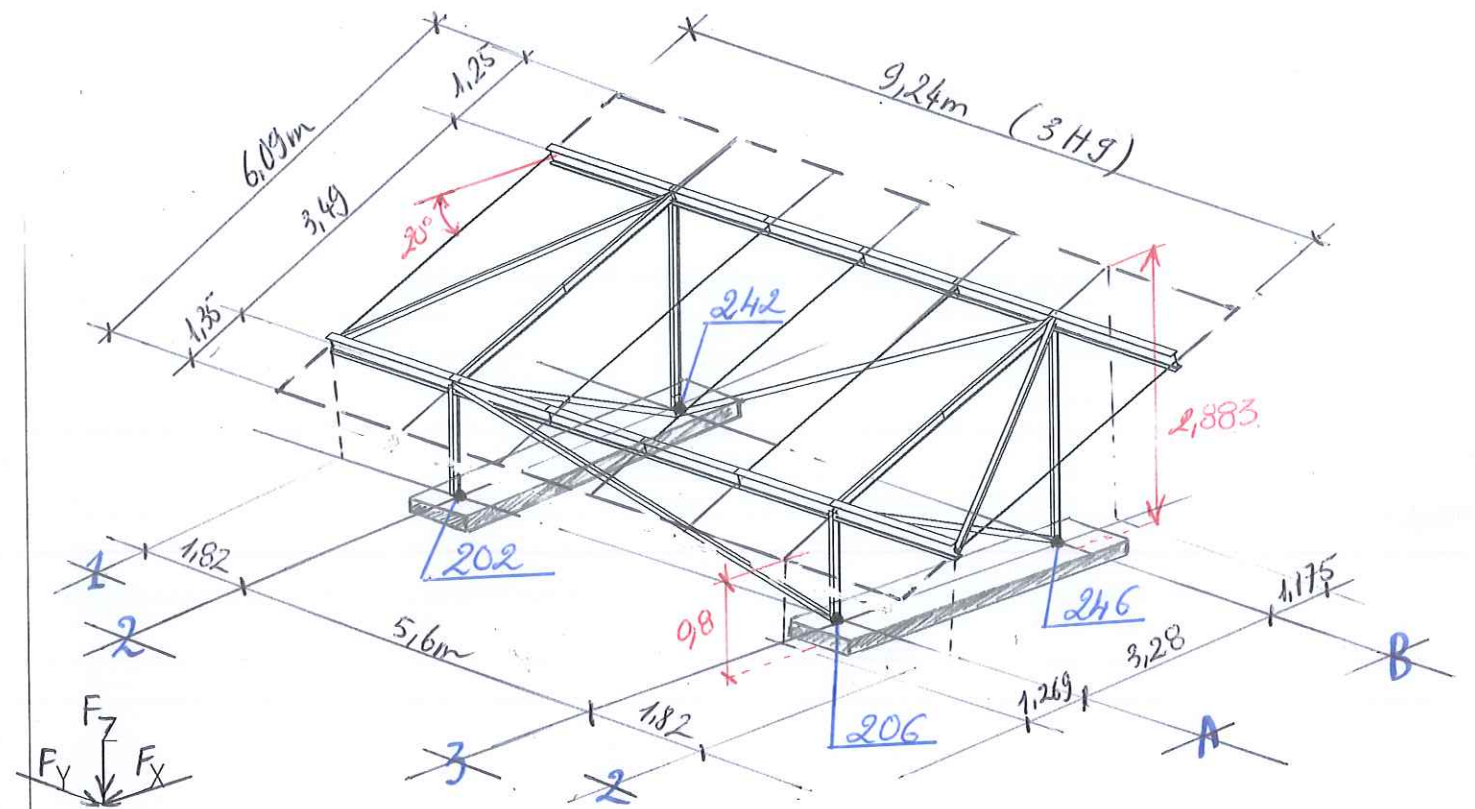




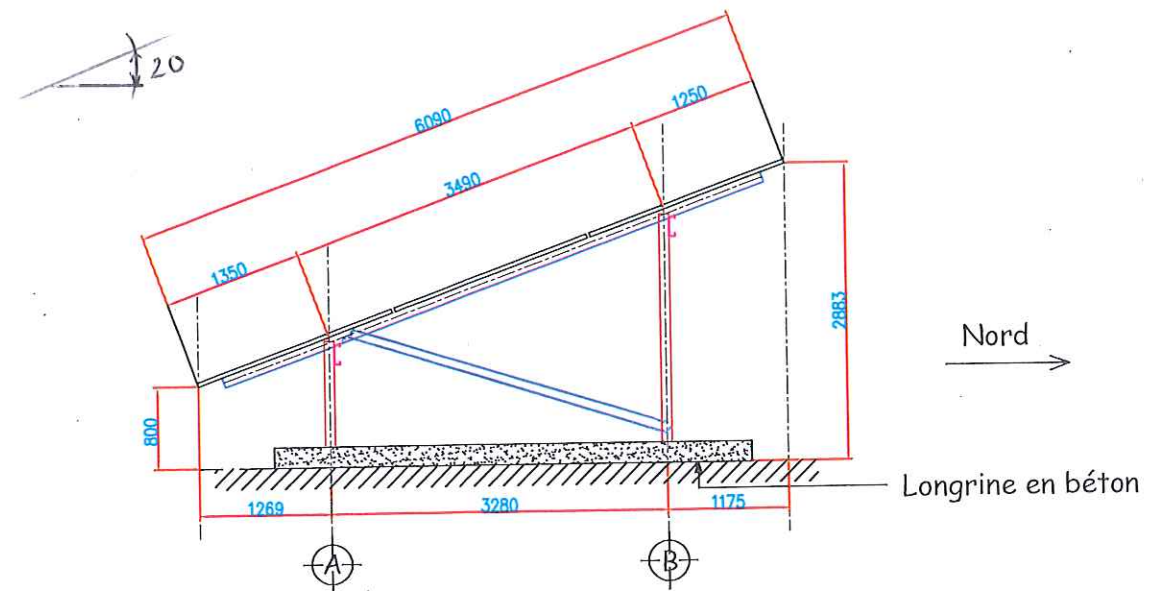
File 2



File 4



coupe transversale



Affichage des actions

Résultats individuels

Descente de charges
cas unitaires

Cas 1A5
1A5 11A15 1011A1015
Noeud 202A246
1A246

Cas	Noeud	FX (daN)	FY (daN)	FZ (daN)	MX (daNm)	MY (daNm)
Nom du cas		CHARGES PERMANENTES				
1	202	0.00	0.00	283.82	0.00	0.00
1	206	0.00	0.18	284.06	0.00	0.00
1	242	-0.10	-0.44	277.30	0.00	0.00
1	246	0.11	0.26	277.06	0.00	0.00
Somme totale		0.00	0.00	1122.24	0.00	0.00
Nom du cas		NEIGE NORMALE				
2	202	0.0	0.0	519.49	0.00	0.0
2	206	0.00	0.32	519.92	0.00	0.00
2	242	-0.19	-0.96	493.54	0.00	0.00
2	246	0.19	0.63	493.11	0.00	0.00
Somme totale		0.00	0.00	2026.05	0.00	0.00
Nom du cas		VENT //X+				
3	202	-4.16	0.00	732.93	0.00	0.00
3	206	-23.87	0.36	725.31	0.00	0.00
3	242	-588.84	-1.15	715.75	0.00	0.00
3	246	-568.71	0.79	723.36	0.00	0.00
Somme totale		-1185.57	0.00	2897.35	0.00	0.00
Nom du cas		VENT //X-				
4	202	7.48	0.00	-263.75	0.00	0.00
4	206	27.20	-0.96	-256.92	0.00	0.00
4	242	943.56	1.61	-2113.12	0.00	0.00
4	246	922.72	-0.65	-2119.94	0.00	0.00
Somme totale		1900.96	0.00	-4753.72	0.00	0.00
Nom du cas		VENT //Y+				
5	202	0.0	-16.93	-200.98	0.00	0.00
5	206	0.00	-404.23	-373.89	0.00	0.00
5	242	331.32	-455.76	-448.64	0.00	0.00
5	246	330.75	-51.87	-795.53	0.00	0.00
Somme totale		662.08	-928.78	-1819.04	0.00	0.00

'Combinaisons'

Affichage des actions
 Résultats individuels
 Cas 1011A1015
 1A5 11A15 1011A1015
 Noeud 202A246
 1A246

*Descente de charges pour tables courantes
 avec $C_0^2 = 1,0$ (Vent nord et vent sud)*

Cas	Noeud	FX (daN)	FY (daN)	FZ (daN)	MX (daNm)	MY (daNm)
Nom du cas 1.35*CP + 1.5*NEI						
1011	202	0.00	0.00	1162.40	0.00	0.00
1011	206	0.00	0.73	1163.35	0.00	0.00
1011	242	-0.43	-2.04	1114.65	0.00	0.00
1011	246	0.43	1.31	1113.70	0.00	0.00
Somme totale		0.00	0.00	4554.11	0.00	0.00
Nom du cas 1.35*CP + 1.5*0.5*NEI + 1.5*VENT//X+						
1012	202	-6.24	0.00	1872.17	0.00	0.00
1012	206	-35.80	1.03	1861.39	0.00	0.00
1012	242	-883.55	-3.04	1818.12	0.00	0.00
1012	246	-852.78	2.01	1828.91	0.00	0.00
Somme totale		-1778.36	0.00	7380.59	0.00	0.00
Nom du cas 1.35*CP + 1.5*NEI + 1.5*0.6*VENT//X+						
1013	202	-3.74	0.00	1822.04	0.00	0.00
1013	206	-21.48	1.05	1816.14	0.00	0.00
1013	242	-530.38	-3.07	1758.83	0.00	0.00
1013	246	-511.41	2.02	1764.73	0.00	0.00
Somme totale		-1067.02	0.00	7161.72	0.00	0.00
Nom du cas 1*CP + 1.5*VENT//X-						
1014	202	11.23	0.00	-111.80	0.00	0.00
1014	206	40.80	-1.25	-101.32	0.00	0.00
1014	242	1415.23	1.97	-2892.38	0.00	0.00
1014	246	1384.19	-0.71	-2902.85	0.00	0.00
Somme totale		2851.44	0.00	-6008.35	0.00	0.00
Nom du cas 1*CP + 1.5*VENT//Y+						
1015	202	0.00	-25.39	-17.64	0.00	0.00
1015	206	0.00	-606.17	-276.78	0.00	0.00
1015	242	496.88	-684.08	-395.66	0.00	0.00
1015	246	496.24	-77.54	-916.24	0.00	0.00
Somme totale		993.11	-1393.17	-1606.32	0.00	0.00

"Combinaisons"

Affichage des actions
 Résultats individuels
 Cas 11A15
 1A5 11A15 1011A1015
 Noeud 202A246
 1A246

*Descente de charges pour tables exposées
 avec: $C_0^2 = 1,53$ (Vent nord)
 $C_0^2 = 1,67$ (Vent sud)*

Cas	Noeud	FX (daN)	FY (daN)	FZ (daN)	MX (daNm)	MY (daNm)
Nom du cas 1.35*CP + 1.5*NEI						
11	202	0.00	0.00	1162.40	0.00	0.00
11	206	0.00	0.73	1163.35	0.00	0.00
11	242	-0.43	-2.04	1114.65	0.00	0.00
11	246	0.43	1.31	1113.70	0.00	0.00
Somme totale		0.00	0.00	4554.11	0.00	0.00
Nom du cas 1.35*CP + 1.5*0.5*NEI + 1.5*1.67*VENT//X+						
12	202	-10.42	0.00	2608.77	0.00	0.00
12	206	-59.79	1.39	2590.33	0.00	0.00
12	242	-1475.33	-4.19	2537.45	0.00	0.00
12	246	-1424.33	2.81	2555.89	0.00	0.00
Somme totale		-2969.86	0.00	10292.43	0.00	0.00
Nom du cas 1.35*CP + 1.5*NEI + 1.5*0.6*1.67*VENT//X+						
13	202	-6.25	0.00	2263.99	0.00	0.00
13	206	-35.87	1.27	2253.50	0.00	0.00
13	242	-885.46	-3.76	2190.42	0.00	0.00
13	246	-854.34	2.49	2200.91	0.00	0.00
Somme totale		-1781.92	0.00	8908.82	0.00	0.00
Nom du cas 1*CP + 1.5*1.53*VENT//X-						
14	202	17.18	0.00	-321.47	0.00	0.00
14	206	62.42	-2.01	-305.57	0.00	0.00
14	242	2165.36	3.24	-4572.30	0.00	0.00
14	246	2117.75	-1.23	-4588.20	0.00	0.00
Somme totale		4362.70	0.00	-9787.56	0.00	0.00
Nom du cas 1*CP + 1.5*1.53*VENT//Y+						
15	202	0.00	-38.85	-177.42	0.00	0.00
15	206	0.00	-927.53	-574.02	0.00	0.00
15	242	760.28	-1046.40	-752.33	0.00	0.00
15	246	759.19	-118.78	-1548.69	0.00	0.00
Somme totale		1519.46	-2131.55	-3052.45	0.00	0.00

Installation photovoltaïque

4 991 kWc

(474 tables 3V9)

Légende	
	Tables 3V9
	Recul de 1.5 / 2m par rapport au réseau biogaz
	Recul de 1.5m par rapport aux puits
	Recul de 1m par rapport au talus
	Poste de livraison
	Poste de transformation
	Bassin de récupération des EP
	Aire de retournement
	Piste lourde de 5m
	Piste pour véhicules tout terrain de 5m



- $C_0^2 \times \Psi_{mc} = 1,53 \times 0,8$ (Vent nord)
- $C_0^2 \times \Psi_{mc} = 1 \times 0,9$ (Vent sud)
- $C_0^2 \times \Psi_{mc} = 1,53 \times 0,7$ (Vent nord)
- $C_0^2 \times \Psi_{mc} = 1 \times 0,9$ (Vent sud)
- $C_0^2 \times \Psi_{mc} = 1,53 \times 1$ (Vent nord)
- $C_0^2 \times \Psi_{mc} = 1,67 \times 1$ (Vent sud)
- $C_0^2 \times \Psi_{mc} = 1,0 \times 1$ (Vent nord)
- $C_0^2 \times \Psi_{mc} = 1,67 \times 1$ (Vent sud)
- $C_0^2 = 1,0$ (Vent nord)
- $C_0^2 = 1,0$ (Vent sud)

MAITRE D'OUVRAGE



Projet photovoltaïque
CETRAVAL Malleville-sur-le-bec

Inc.	Historique des opérations	Date
B	Modification voirie lourde	23/10/2020
A	Création du document - Implantation	16/10/2020

Plan d'implantation

Maître d'ouvrage:		SEM SIPeNR 173-175 rue de Bercy 75 012 Paris
Bureau d'étude:		13 rue Taymond Losserand 75 014 Paris Tél: 01 44 08 10 50
Réf: GBS20-SIP-PI001	Echelle: 1/3500	Dessiné par: S. Fontaine
Date: 23/10/2020	Format A3	Validé par: A. Labrunie
	Phase: APS	Approuvé par: G. Collin

I-4 FLECHES ADMISSIBLES :

Déviation angulaire de 1.2° maximum par panneau.

Ou Flèches des structures de panneaux solaires : 1/100° de portée ou hauteur
(en l'absence de calculs de déformations angulaires)

I-5 PRINCIPE DE STABILITES et CONTREVENTEMENTS DES OUVRAGES :

RIGIDITE dans le plan de panneaux solaires assurée par des contreventements.

STABILITES TRANSVERSALE assurées par les portiques avec des poteaux articulés en pieds, posés sur longrine.

STABILITES LONGITUDINALES assurées par les diagonales de stabilité.

NOTE DE SYNTHESE

Référence de Chantier : Centrale Photovoltaïque de CETRAVAL
Lieu d'utilisation: Malleville sur le bec (27)

I. CHANTIER REFERENCE

Il s'agit d'un support de panneau solaire reposé sur longrine en béton. La dimension de la structure (3V9) est de 6.09m de large et 9.24m de long. Il se compose de 2 portiques espacés de 5.6m.

Les documents techniques nécessaires (Module de panneau, plan topographique) sont fournis par S.I.E.G.E

II. OBJET DE L'ETUDE

L'étude des pressions du vent sur panneaux solaires et structures et l'évaluation de descente de charges en pieds de structure selon le plan topographique. Cela permettra de dimensionner les fondations et les lestages nécessaires en fonction d'implantation des tables pour supporter les charges climatiques en vigueur.

III. BASE DE L'ETUDE

Les documents techniques fournis par S.I.E.G.E

IV. ETUDE DES CHARGES APPLIQUEES SUR STRUCTURES

1 Plans de principe de structure :

Le portique de support se compose deux montants et une diagonale pour assurer la stabilité transversale.

Les 2 portiques sont espacés de 5.6m et éventuellement rajouter des diagonales suivant l'axe des montants pour la stabilité longitudinale.

2 Etudes de vitesse de vent et pression induite:

A noter que les règles Eurocodes 1 en vigueur précisent la vitesse et pression générale de vent sur site (vent région 2 site d'exposition IIIa)

Cela induit : une pression de vent normale $Q_p=68.8 \text{ daN/m}^2$
une pression de vent extrême $Q_p*1.5= 103.2 \text{ daN/m}^2$
et une vitesse de vent extrême $V_{ext}= 41 \text{ m/s} = 148 \text{ km/h}$

Mais la présente étude se doit d'aller plus précisément et cartographie les pressions de vent plus fortes localement induites par la topographie du site.

1 DESCRIPTION GENERALE DU PROJET

Les caractéristiques du projet solaire photovoltaïque du CETRAVAL sont les suivantes :

Caractéristiques techniques de la centrale photovoltaïque	
Puissance crête installée	Entre 4,7 et 5 MWc
Puissance unitaire des panneaux photovoltaïques	Entre 370 et 390 Wc
Productible annuel estimé	5 000 MWh/an
Surface clôturée	6,78 ha
Surface projetée au sol des panneaux	Environ 24-170 m ²
Type de modules	Silicium poly ou monocristallin
Hauteur maximale des structures	Environ 3 m
Inclinaison des structures	20°
Distance panneau à panneau entre deux rangées	4,28 m
Nombre de locaux techniques	2
Longueur de la clôture	1308 m

Tableau 31 : Caractéristiques de la centrale photovoltaïque

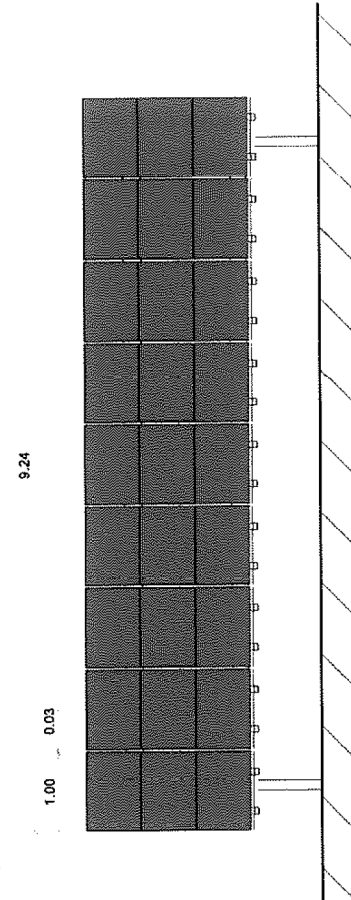
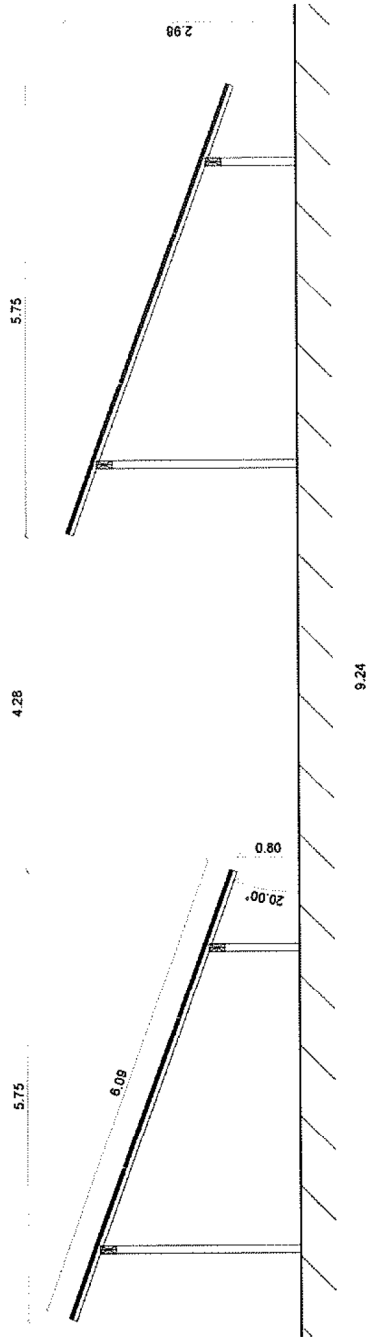


Tableau 32 : Plan de façade d'une table photovoltaïque (Source : SOPHIE FERNANDES ARCHITECTE D.E.)

Etude d'impact du projet solaire photovoltaïque du CETRAVAL - mars 2020

TARKA 144 Demi-Cellules

CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES AUX CONDITIONS STC (Standard Test Conditions, 1000W/m², 25°C, AM1,5)

Gamme de puissance (Wc)	VSMS			
	380	385	390	395
Rendement surfacique	18,9%	19,2%	19,4%	19,7%
Tensions à puissance max. Vpmax (V)	40,44	40,68	40,92	41,16
Intensité à puissance max. Ipstc (A)	9,40	9,47	9,54	9,60
Tension circuit ouvert Voc (V)	47,74	48,06	48,29	48,48
Courant de court-circuit Isc (A)	10,02	10,07	10,15	10,23

CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES AUX CONDITIONS NOCT (Normal operating cell temperature, 800 W/m², 45°)

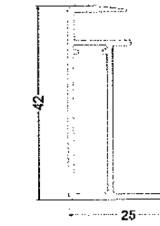
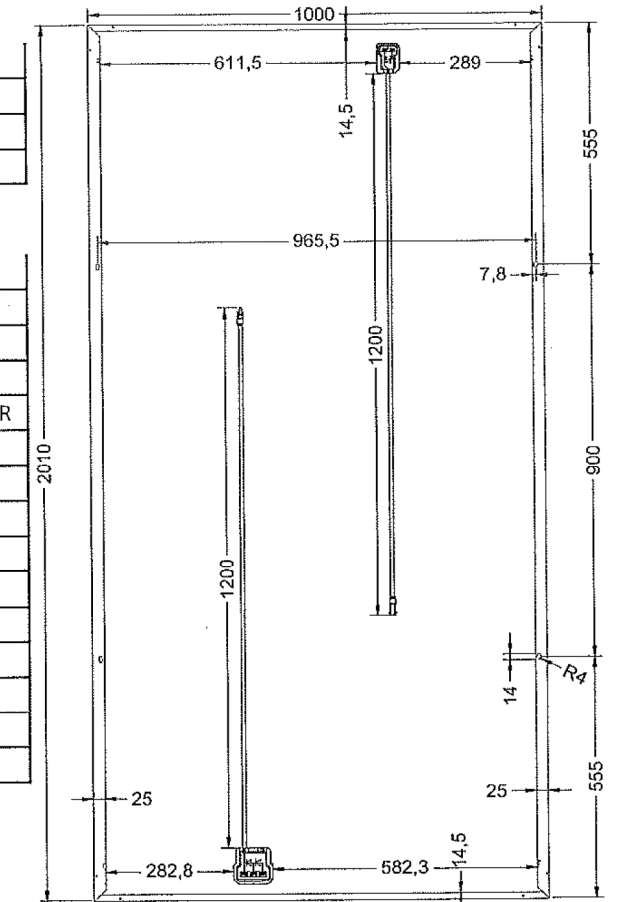
Puissance au NOCT	282,0	285,7	289,4	293,1
Intensité au NOCT	7,61	7,67	7,72	7,77
Tension au NOCT	37,04	37,26	37,48	37,70

VALEURS NOMINALES DE TEMPERATURE

Température nominale cellule (NOCT)	45°C
Coefficient de temp. sur Pmax	-0,37%/°C
Coefficient de temp. sur Voc	-0,32%/°C
Coefficient de temps. sur Isc	0,05%/°C

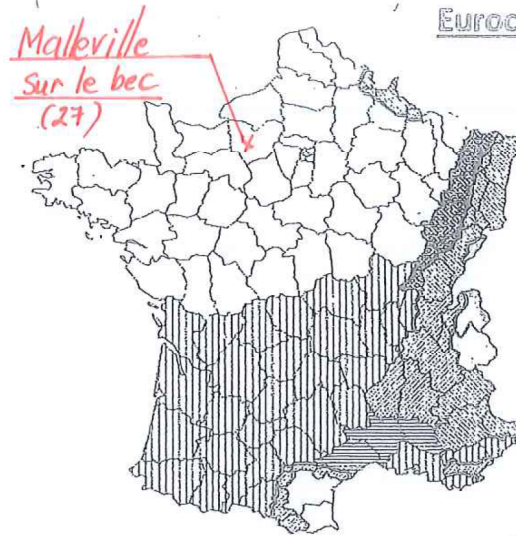
CARACTERISTIQUES STANDARDS DES PANNEAUX

Dimensions	2010x1000x42 mm
Poids	22 kg
Type de cellules	Mono
Dimensions et quantité/panneau	144 demi-cellules
Verre solaire	Verre trempé 3,2mm AR
Connecteurs MC4 compatibles	ZIRH 05-8
Longueur des câbles	1,2m
Cadre	Aluminium
Couleur de backsheet	Blanc
Tolérance en puissance	de +0 à +5W
Températures d'utilisation	-40 °C à +85 °C
Charge maximum par vent/neige	2400 Pa/5400 Pa
Sécurité électrique	Classe II
Tension maximale du système (V)	1500
Courant inverse max. IRM (A)	15



Voltec Solar SAS
 1 rue des Prés • 67190 DINSHEIM-SUR-BRUCHE • FRANCE
 Tél : +33 (0)3 88 49 49 84 • Fax : +33 (0)3 88 49 49 85
 info@voltec-solar.com • www.voltec-solar.com

Calculs de charges de neige et vent



Eurocodes : charges de neige en KN/m² :

Toiture :

	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D	E

(S _s) charge de neige sur le sol à une altitude < 200m	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D	E
	0,45	0,45	0,55	0,55	0,65	0,65	0,9	1,4
(S _{AD}) charge exceptionnelle de neige	-	1	1	1,35	-	1,35	1,8	-
Altitude > 200m	Δs ₁						Δs ₂	

Altitude A	Δs ₁	Δs ₂
De 200 à 500 m	A/1000 - 0,20	1,5 x A / 1000 - 0,30
De 500 à 1000 m	1,5 x A / 1000 - 0,45	3,5 x A / 1000 - 1,30
De 1000 à 2000 m	3,5 x A / 1000 - 2,45	7 x A / 1000 - 4,80

PROJET DURABLE ET TRANSITOIRE

S₁ = μ_s x C_e x S_k = 0,8 x 45 = 36 daN/m²

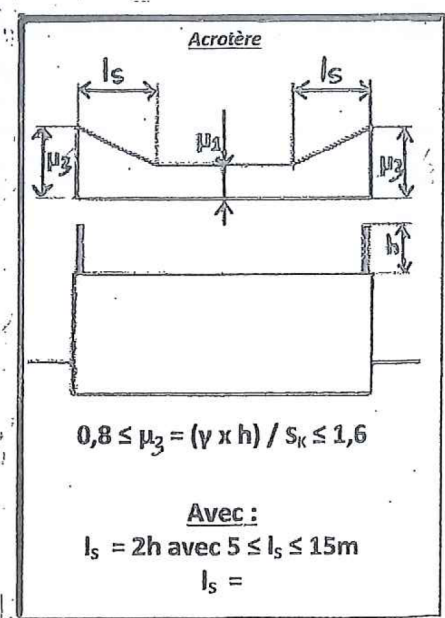
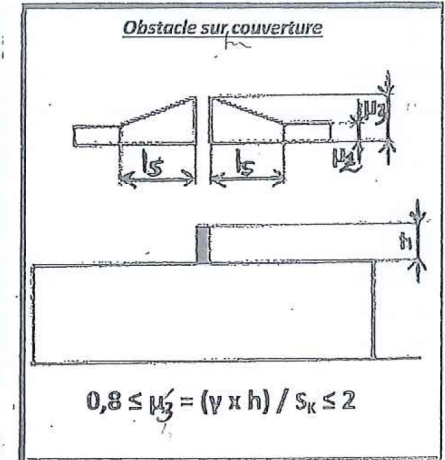
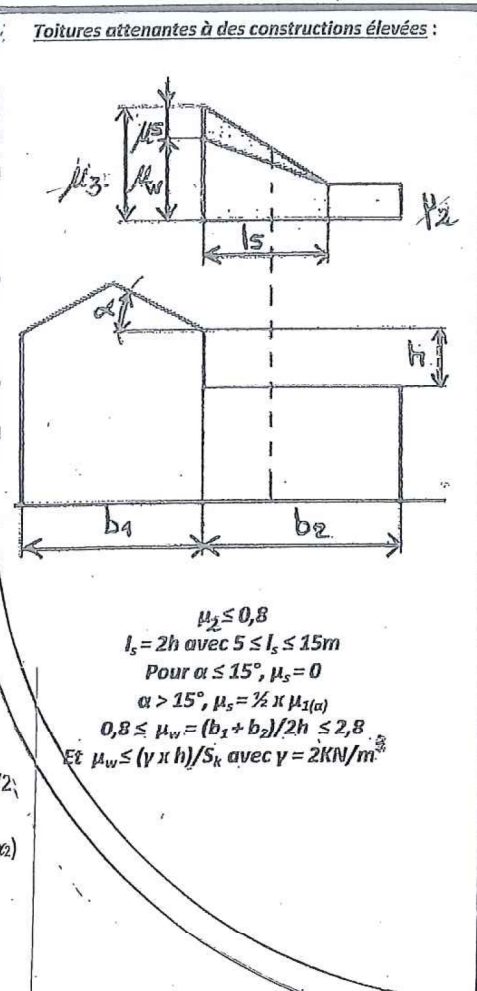
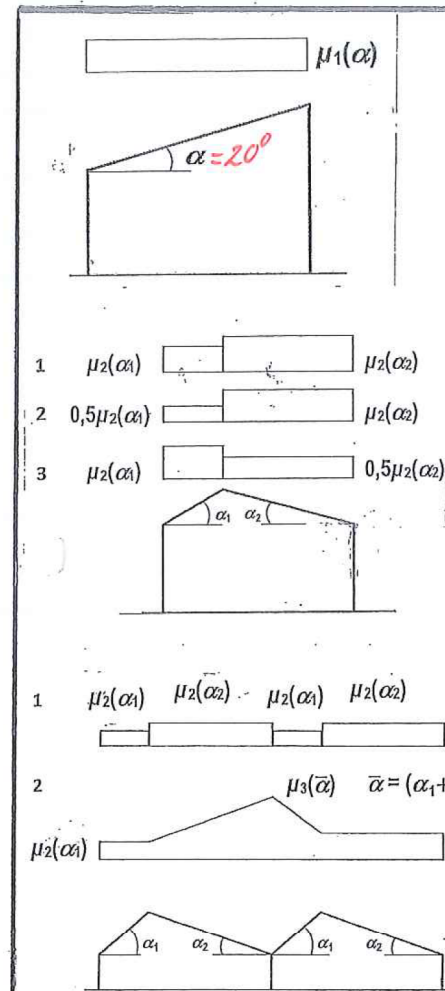
CHUTE EXCEPTIONNELLE (ACCIDENTELLE) :

Supplément pour les zones A2, B1, B2, C2 et D :

S₂ = μ_s x C_e x S_{AD} =

C _e	
Toiture abritée par bâtiments voisins	1,25
Autres cas	1,0

coefficients de forme :



α = 20° → μ_s = 0,8

Tableau 5.2 Coefficients de forme de la charge de neige

α (Angle du toit avec l'horizontale)	0° ≤ α ≤ 30°	30° < α < 60°	α ≥ 60°
μ ₁ (α)	μ ₁ (0°) ≥ 0,8	μ ₁ (0°) * (60° - α) / 30°	0,0
μ ₂ (α)	0,8	0,8 * (60° - α) / 30°	0,0
μ ₃ (α)	0,8 + 0,8 α/30	1,8	-

Amendement 1/1

NOTE : L'Annexe Nationale peut spécifier la valeur de μ₁(0°). La valeur recommandée est μ₁(0°) = 0,8.