



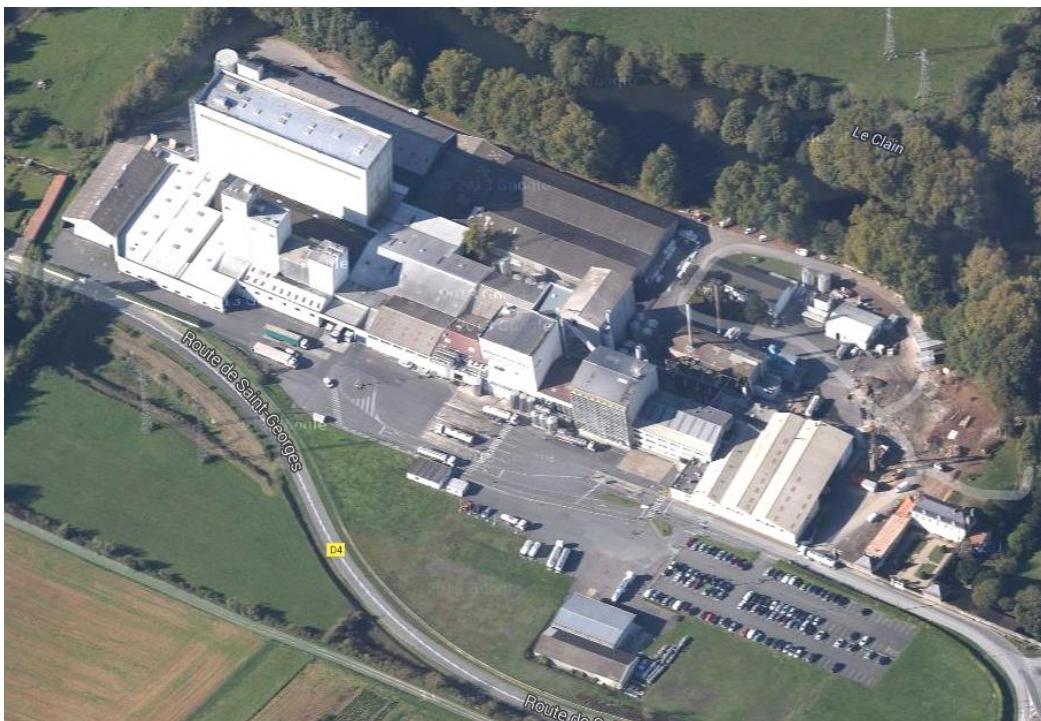
BONILAIT PROTEINES

PROJET IRIS

SITE DE CHASSENEUIL DU POITOU (86)

*_*_*

**CALCULS DE SURFACES D'EVENT ET
MODELISATION D'EFFETS LIÉS A DES
EXPLOSIONS DE POUSSIÈRES**



Siège Social et Agence Sud-Ouest





ZAC du Grand Noble
37 avenue de l'Escadrille Normandie Niemen
31700 BLAGNAC - France
Tél. : +33 (0)5 61 30 99 00

Siège Administratif et Agence Ile de France

ZAC de la Clé Saint-Pierre
1 boulevard Jean Moulin
CS 70562
78996 ELANCOURT Cedex - France
Tél. : +33 (0)1 72 87 96 64

Agence Sud-Est

ZI la Couperigne
Centre Tertiaire Marseille Aéroport - Bât B
BP 50244
13747 VITROLLES Cedex - France
Tél. : +33 (0)4 42 89 12 05

Business Unit Transport Energy Defence		ORGANISME EMETTEUR  <small>SECURING YOUR BUSINESS</small>		Bureau de Nancy Immeuble Thiers, 4 rue Piroux 54048 NANCY cedex Tél. : 03 83 18 50 60	
CLASSIFICATION			Marché ou contrat		
Secret militaire	Secret industriel		Numéro du marché ou du contrat	Organisme client	
NC	NC		Mail du 18/08/17	Bonilait Protéines	
Contractuel	Lot	Poste	Programme	Code	
OUI	-	-	-	-	
TITRE : Calculs de surface d'évent et modélisation d'effets liés à des explosions de poussières					
Identification du document			Nombre de pages		
APSYS : BUTED/NT/17/01142			Texte	Planche	Annexe
(client) : -			32	-	1 annexe
Date : 25/09/17	Réf. du fichier : FTED170456_Bonilait_IRIS_modélisations			Notion d'indexage : Bonilait IRIS Chasseneuil	
Résumé d'auteur : L'objet de ce document est de calculer les surfaces d'événements et d'évaluer les scénarios d'accident liés à des cas d'explosions de poussières dans les installations du projet IRIS sur le site Bonilait Protéines de Chasseneuil de Poitou (86). Ce projet consiste en une nouvelle unité de mélange et de conditionnement d'aliments pour allaitement à partir de big bags stockés sur le site.					
Auteur(s) N.GAULIER  25/09/2017		Vérificateur J.P. BLANCHARD  25/09/2017		Vérificateur J.P. BLANCHARD  25/09/2017	

Sommaire

1. INTRODUCTION	4
2. CARACTERISTIQUES DES INSTALLATIONS.....	5
3. CALCULS DE SURFACES D'EVENT.....	16
3.1. VALEURS D'EXPLOSIVITE PRISES EN COMPTE	16
3.2. PRESSION D'OUVERTURE DES SURFACES D'EVENT	18
3.3. PRESSION MAXIMALE ADMISSIBLE.....	18
3.4. MODE DE CALCUL	18
3.5. RESULTATS.....	19
4. DISTANCES D'EFFETS LIEES A DES EXPLOSIONS DE POUSSIERES.....	20
4.1. SURPRESSIONS.....	20
4.1.1 Méthode d'évaluation des surpressions.....	20
4.1.2 Résultats	26
4.2. EFFONDREMENT	27
4.2.1 Méthodologie	27
4.2.2 Résultats	27
5. EVALUATION DE LA CRITICITE DES PHENOMENES DANGEREUX ETUDIES.....	28
5.1. ÉCHELLE D'APPRECIATION DE LA GRAVITE DES CONSEQUENCES HUMAINES	28
5.2. DETERMINATION DES "EQUIVALENTS PERSONNES EN PERMANENCE"	28
5.3. GRAVITE DES PHENOMENES DANGEREUX.....	29
5.4. CRITICITE.....	31
6. CONCLUSION.....	32

1. INTRODUCTION

Bonilait Protéines projette de construire une nouvelle unité de mélange et de conditionnement d'aliments pour allaitement sur le site de Chasseneuil du Poitou (86).

Dans le cadre de ce projet, **Bonilait Protéines** souhaite connaître les surfaces d'événements à mettre en place et les effets liés à des explosions de poussières au niveau des installations.

Cette étude fait l'objet du présent document réalisé par APSYS à la demande de **Bonilait Protéines**.

Il a été élaboré à partir des données fournies par **Bonilait Protéines** et par le bureau d'études Alliance AT2i.

2. CARACTERISTIQUES DES INSTALLATIONS

Ce chapitre a été élaboré sur base des plans masse coupe et données du projet IRIS.

Les caractéristiques des cellules en projet et existantes sont reprises dans les tableaux suivants.

Des plans du projet (masse coupe bâtiments) sont joints aux pages suivantes

- Cellules en projet en haut de bâtiment IRIS

Numéros de cellules	Produits en poudre contenus	Capacité Cellules (en m3)	Hauteur du sommet de la cellule par rapport au sol (RDC)	Diamètre (en m)	Hauteur fût (en m)	Hauteur cône (en m)
C1 C2 C3	Bonilac	50	44,8 m	3,8	4,5	2,2
C32	Bonibrebis	50	44,8 m	3,8	4,5	2,2
C30	Lait 40	50	44,8 m	3,8	4,5	2,2
C4 C33	Bonilac	30	44,8 m	2,9	4,5	1,5
CG1 CG2	Gluten acide	30	44,8 m	2,9	4,5	1,5
C36 C37 C38	Déclassé	30	44,8 m	2,9	4,5	1,5
C41	Pictamilk	30	44,8 m	2,9	4,5	1,5
C40	PMI Laitine	30	44,8 m	2,9	4,5	1,5
C35	Bonilac	15	44,8 m	2,1	4,5	0,75
C34	Pictacid Fluide	15	44,8 m	2,1	4,5	0,75
C31	Sérum brebis	15	44,8 m	2,1	4,5	0,75

- Cellules en projet en bas de bâtiment IRIS

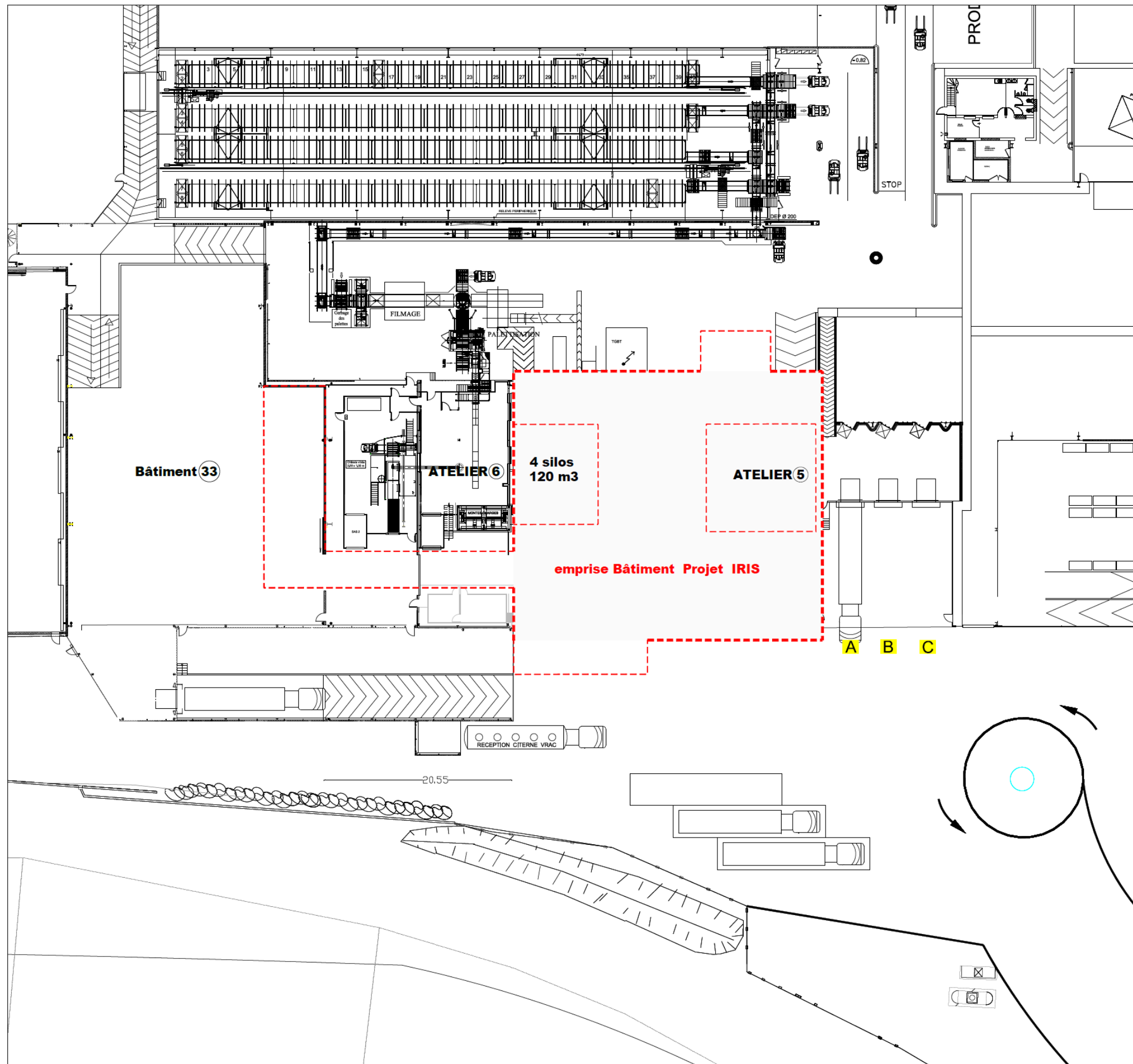
Numéros de cellules	Produits en poudre contenus	Capacité Cellules (en m3)	Hauteur du sommet de la cellule par rapport au sol (RDC)	Diamètre (en m)	Hauteur fût (en m)	Hauteur cône (en m)
C28 C29	Produits finis	50	30,8 m	3,8	4,5	2,2
PF3 PF4 PF5	Produits finis	25	17,8 m	2,7	4,5	1,3
PF1 PF2	Produits finis	15	17,8 m	2,1	4,5	0,75

- Cellules de 120 m3 existantes incluses dans l'enveloppe du bâtiment IRIS

Numéros de cellules	Produits en poudre contenus	Capacité Cellules (en m3)	Hauteur du sommet de la cellule par rapport au sol (RDC)	Diamètre (en m)	Hauteur fût (en m)	Hauteur cône (en m)
PI1, C6, C7, C12	PI1 : produit industriel C6 : sérum doux 0% de matière grasse C7 : lait 0% de matière grasse C12 : babeurre acide	120	21,5 m	3,3	8,85	4

- Cellules atelier 5 incluses dans l'enveloppe du bâtiment IRIS


Numéros de cellules	Produits en poudre contenus	Capacité Cellules (en m3)	Hauteur du sommet de la cellule par rapport au sol (RDC)	Diamètre (en m)	Hauteur fût (en m)	Hauteur cône (en m)
C8, C9, C10, C11	C8 dé lactosé C9 Bonifeed C10 Babeurre C11 Pictamilk	37	16,7 m	2,7	5,8	2
C20, C21, C22, C23, C24, C25, C26, C27	C20 : Isolat de pois C21 concentré de soja C22 farine de blé C24 farine de pois C25 WPC 80 C26 Amidon C27 Farine de blé	12	16,7 m	1,5	5,8	1





Plan masse localisation des installations en projet
 (sans échelle)

Les quantités et métrés sont communiqués à titre indicatif. L'entreprise est tenue de les vérifier et de les adapter si nécessaire en fonction de ses méthodes de travail pour établir la décomposition de son prix forfaitaire, dont elle sera la seule responsable.

Fond De Plan Arohi + Ind			
Fond de plan Gros Oeuvre + Ind			
CCPT + Ind			
Index	Date	Modification	

MAITRE D'OUVRAGE:
 **BONILAIT PROTEINES**
 BP 2
 86361 CHASSENEUIL du POITOU cedex

ARCHITECTE:
 **Anne LEMÉE - Architecte DPLG**
 20, rue Edouard GRIMAUX
 86000 POITIERS

MAITRE D'OUVRAGE:
 **ALLIANCE 2i / AT2i**
 1 ter, rue des écoles
 ROMPSAY - BP 27
 17182 PERIGNY cedex

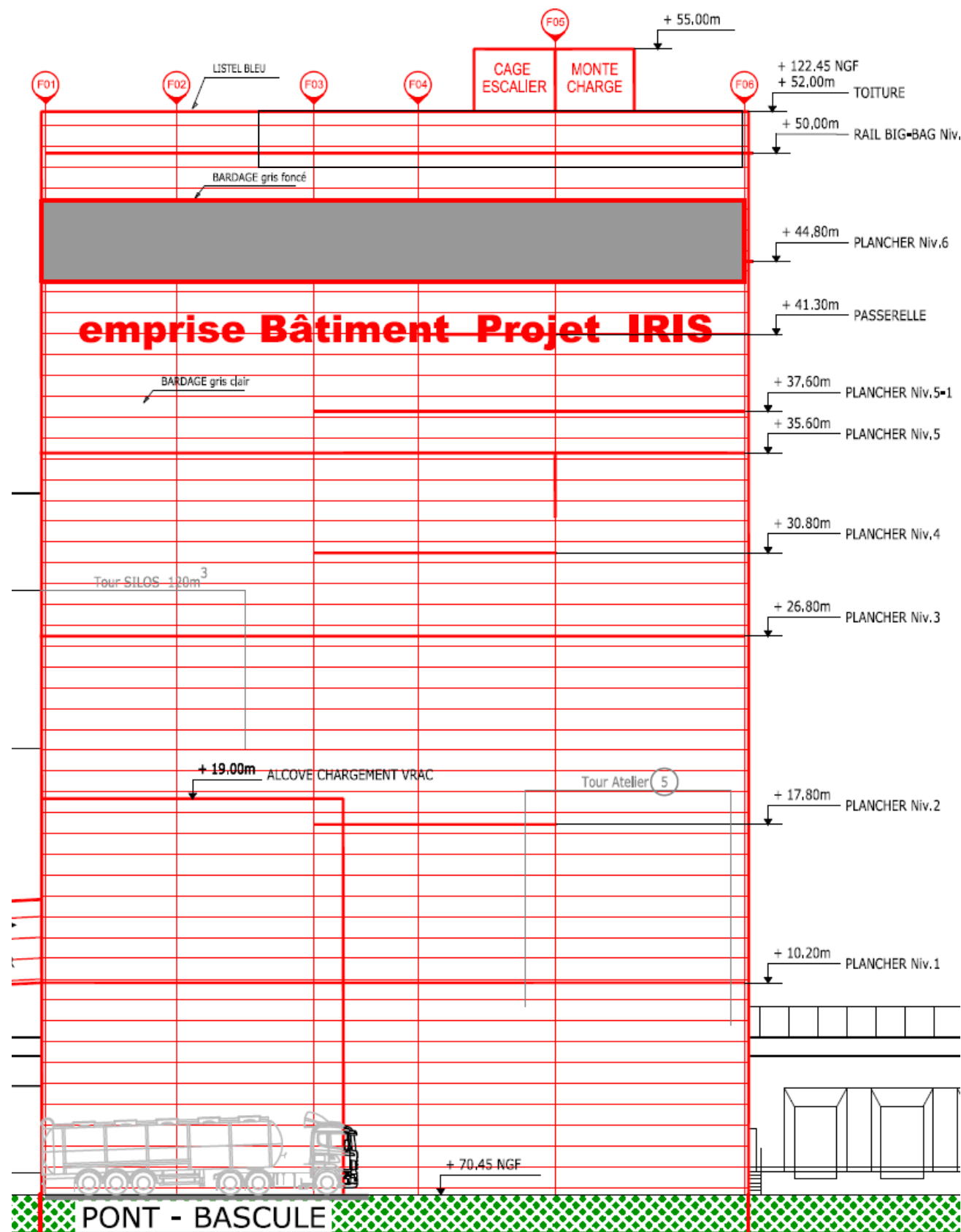
 Phase : **DCE / PRO**
 Niveau : **Niveau ±0,00**

Projet IRIS 
 Plan de masse d'emprise Projet IRIS

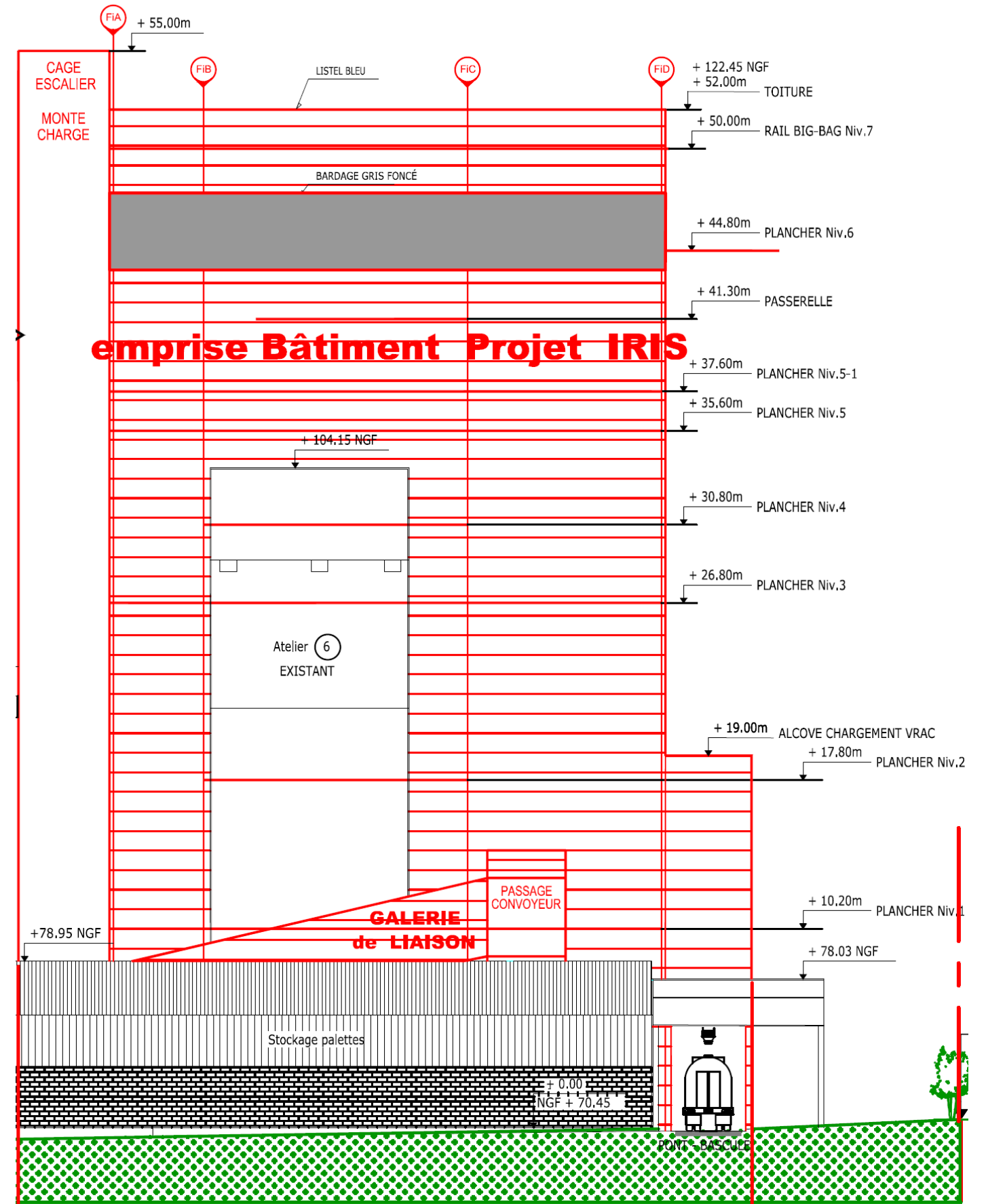
Numéro d'affaire : 1505-001-S3	Echelle : 1/200	Date de création du document : 21/04/2017	Numéro du plan : 004	Ind. A
-----------------------------------	--------------------	--	-------------------------	-----------

 Résidence Le Trianon
 1 ter rue des écoles - BP 20027
 17183 PERIGNY CEDEX
 Tél. 05 46 311 313
 E-mail : at2i@alliance2i.com
 www.alliance2i.com

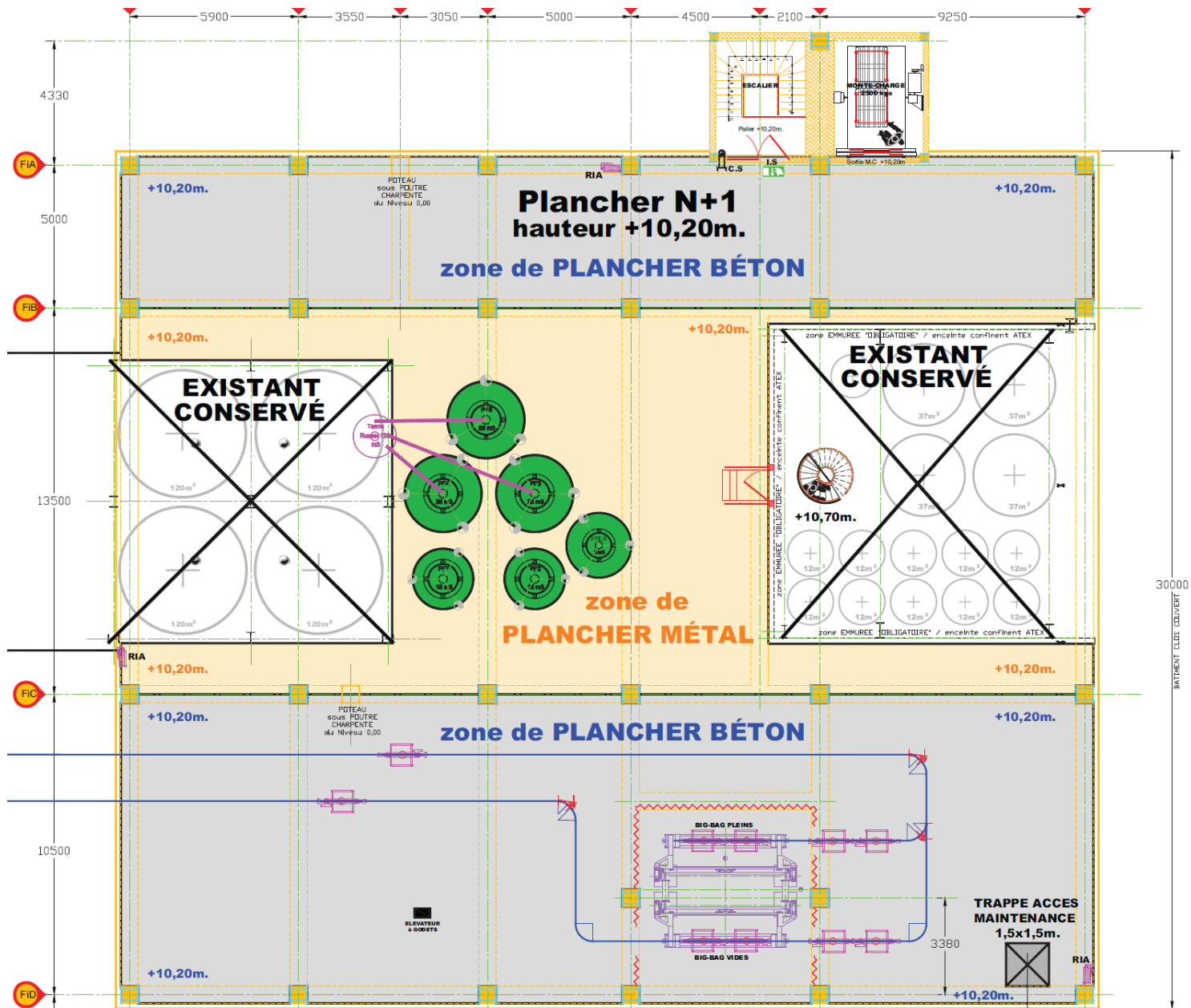
ALLIANCE 
 Ingénierie

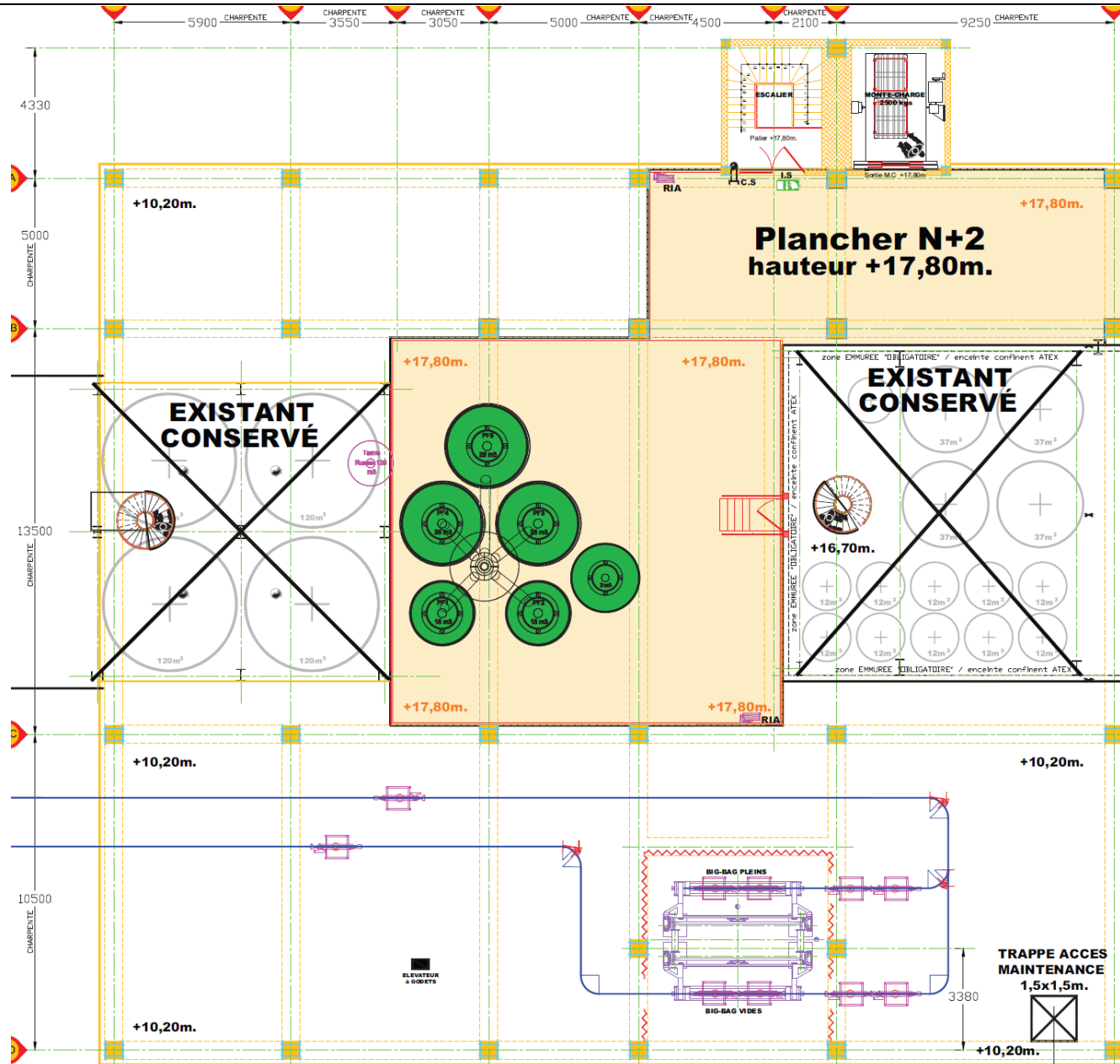


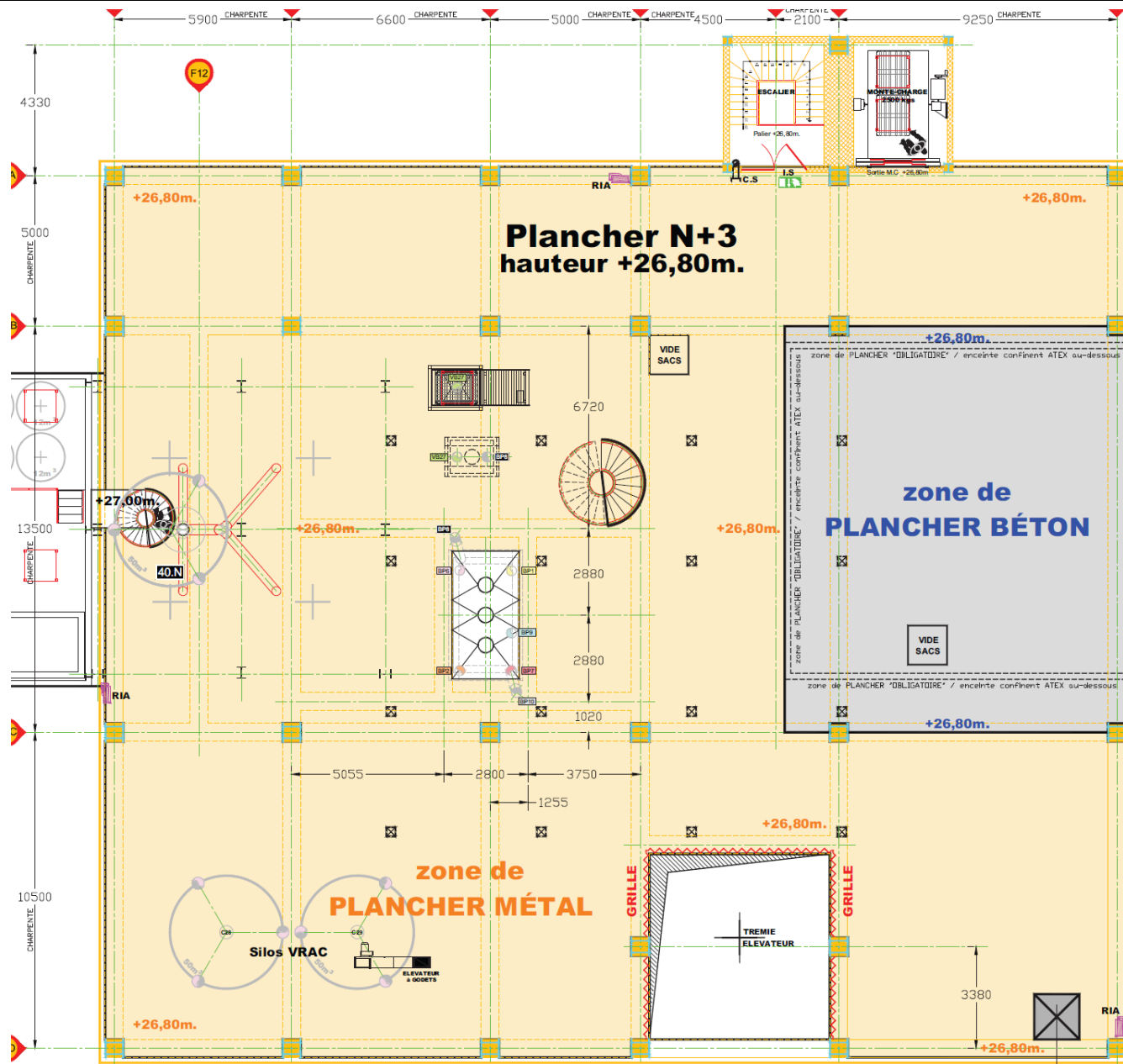
Façade/coupe longitudinale bâtiment IRIS
(sans échelle)

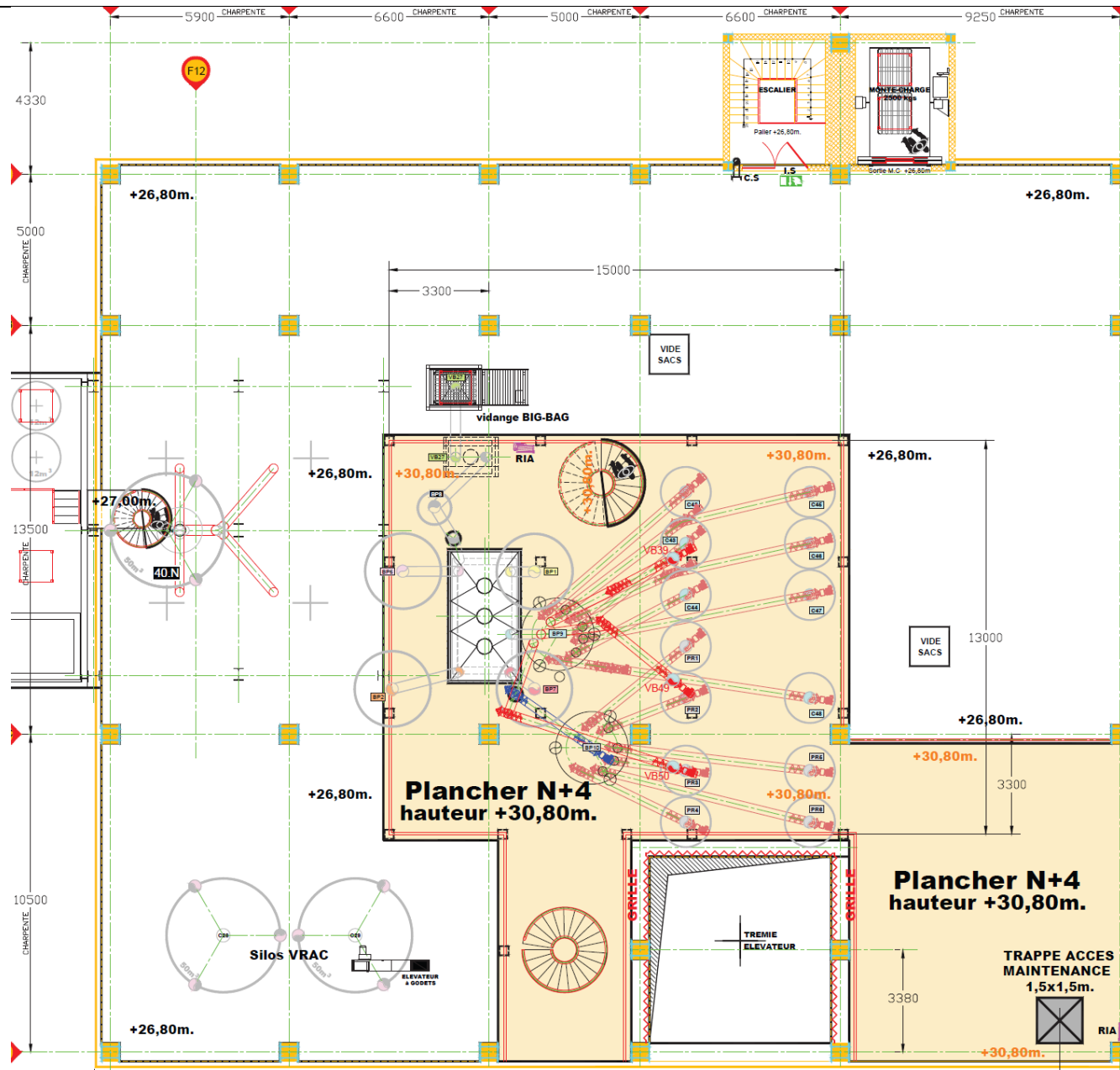


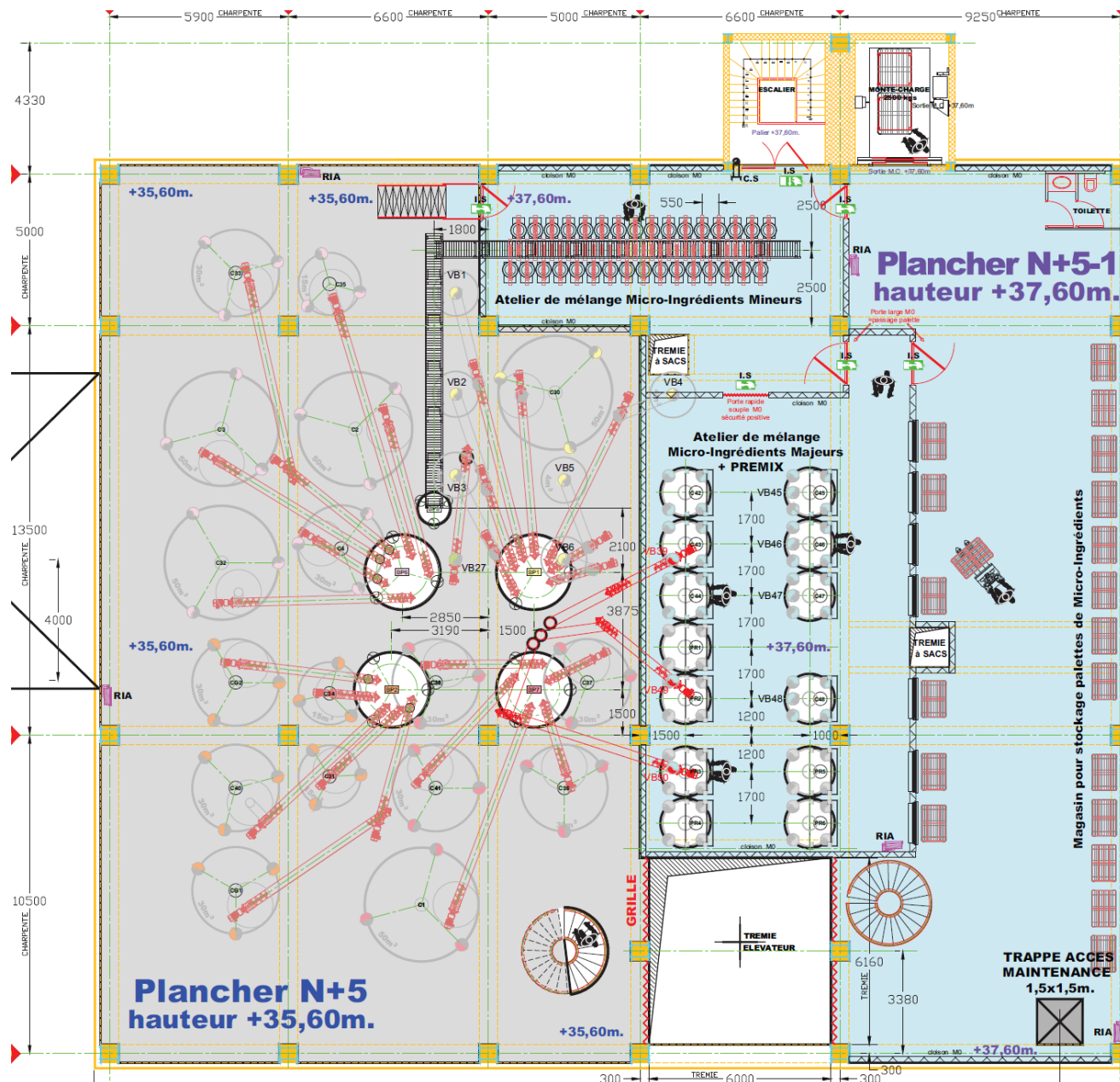
Façade/coupe latérale bâtiment IRIS
(sans échelle)

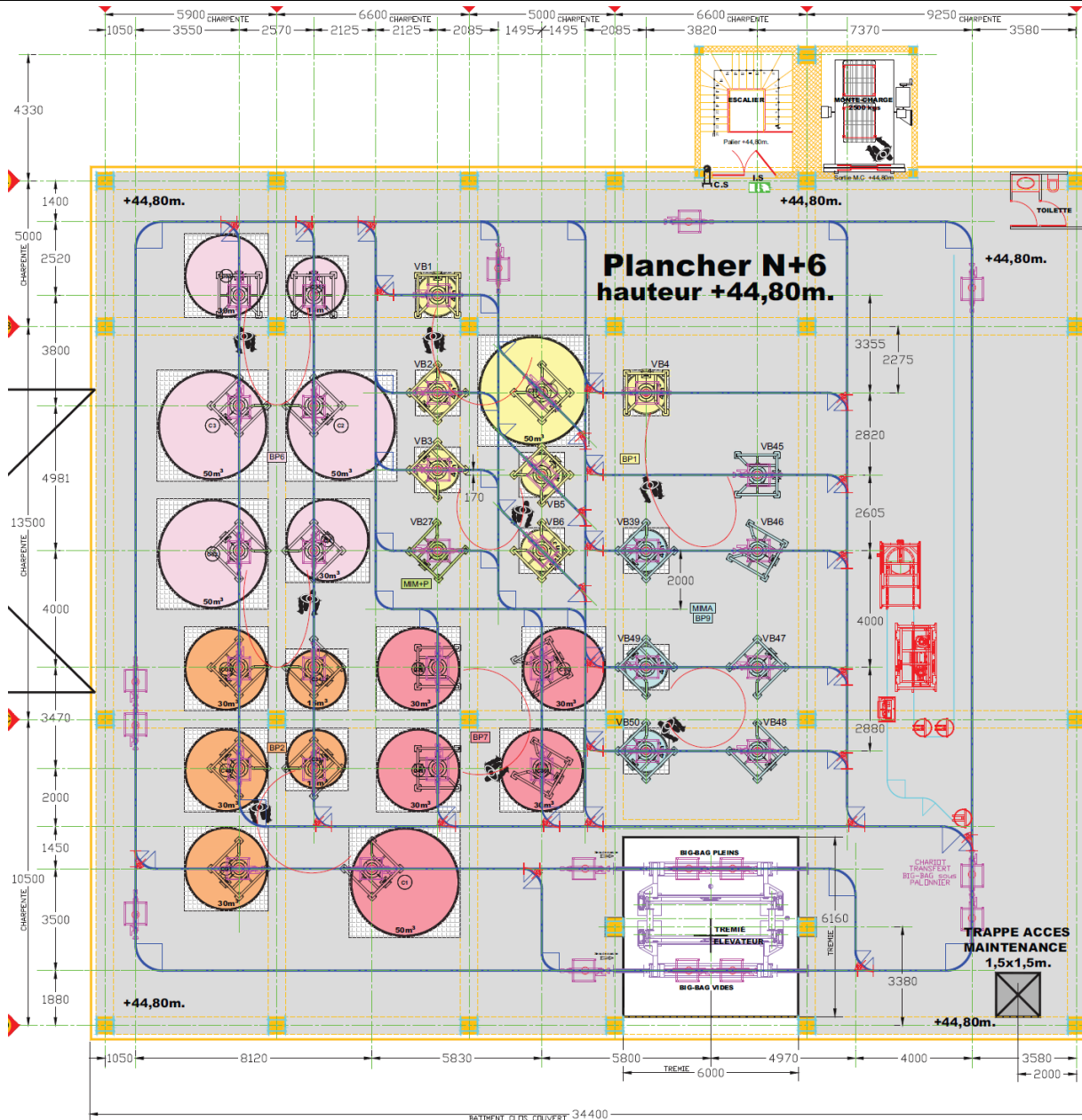




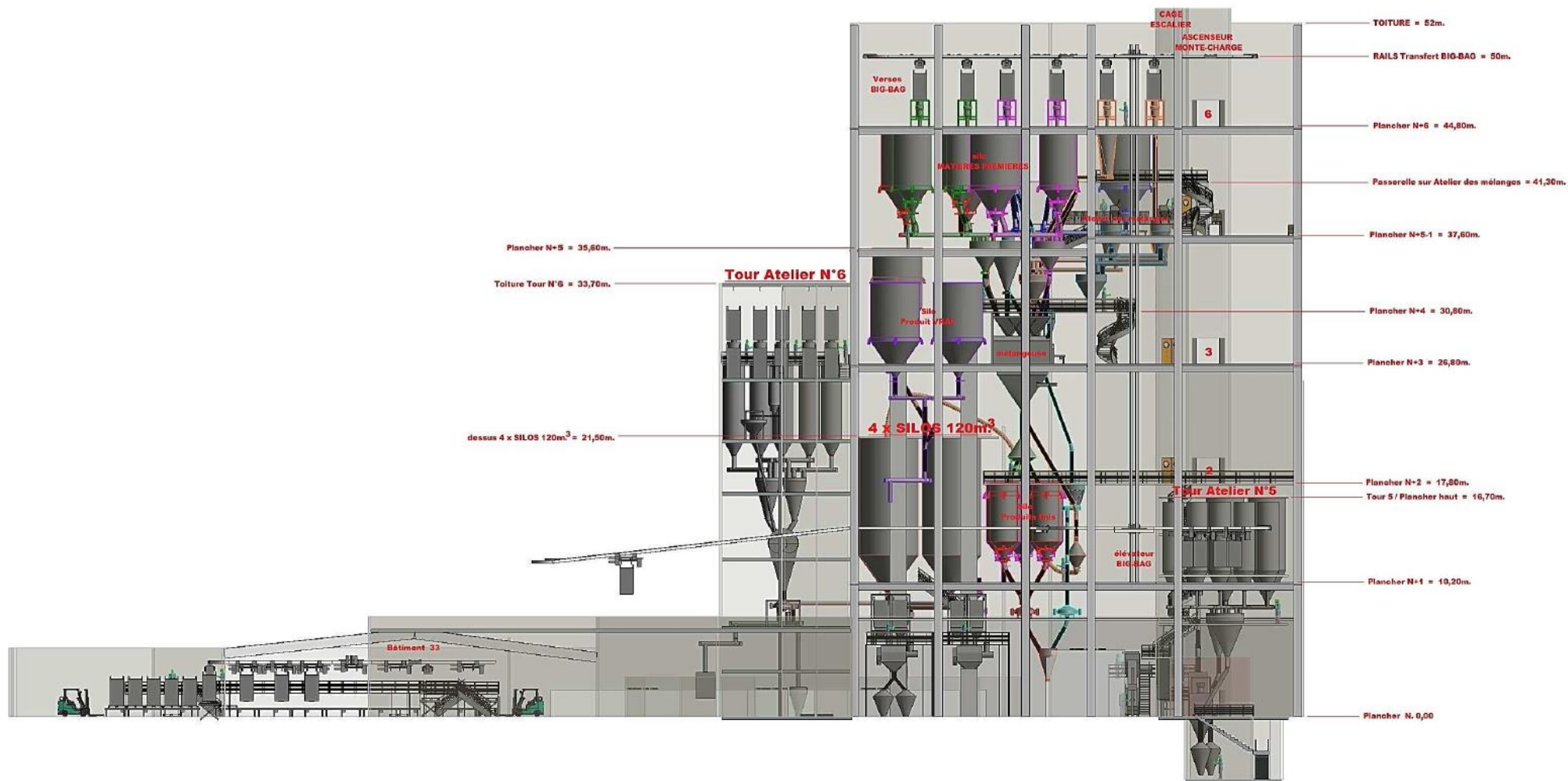








Vue en coupe longitudinale



3. CALCULS DE SURFACES D'EVENT

3.1. VALEURS D'EXPLOSIVITE PRISES EN COMPTE

Les capacités stockent des produits à base de lait en poudre, de végétaux.

Des valeurs d'explosivité des produits du site figurent en page suivante (source : Bonilait).

Le guide Etat de l'art sur les silos apporte également des indications sur les valeurs d'explosivité pouvant être prises en compte pour ce type de produit.

Produit	Kst (bar.m⁻¹.s⁻¹)	Pmax (bar)
Blé	112	9.3
Farine de blé	139	9
Amidon	130	10
Malt	170	7.5
Maïs	47	6.2
Graines Tournesol	92	7.8
Luzerne	94	6.7
Sucre blanc	154	8.4
Pellets de betteraves	30	6
Lin	17	6

Tableau des valeurs d'explosivité (source : guide état de l'art sur les silos)

Valeurs d'explosivité des produits du site

Nom du produit	Tour de séchage habituelle	Date organisme	Méthode granulométrie	GRANULOMETRIE ET TAUX D'HUMIDITE					VIOLENCE D'EXPLOSION				
				Diamètre des particules en mm (d)					Taux humidité	Pmax (bar)	VMP max (bar/s)	Kst (bar.m/s)	Classe explosion
				d > 315	315 > d > 180	180 > d > 100	100 > d > 63	d < 63					
PICTAMILK 2/35	Tour 3/ Tour 1	25/01/2008 INERIS	Tamisage	3,54%	27,96%	52,51%	14,68%	1,30%	5,20%	7,6	211	57	St1
				Diamètre moyen des particules (mm)									
				à 10%	Médian	à 90%							
Bonigrasa 50 PA.H	Tour 6 BLV	26/02/2014 Swissi	Diffraction laser	-	138 mm	-	-	-	-	6,9	172	47	St1
PICTACID FLUIDE	Tour 1	14/10/2003 INERIS	Granulomètre à laser	85 mm	149 mm	261 mm	-	-	2,60%	5,5	388	105	St1
BONILAC 50 PACS	Tour 3	14/10/2003 INERIS	Granulomètre à laser	62 mm	254 mm	490 mm	-	-	4,25%	4,5	325	88	St1
BONILAC 50 PACS	Tour 4	14/10/2003 INERIS	Granulomètre à laser	69 mm	221 mm	489 mm	-	-	1,60%	3,9	293	80	St1
VEGETALAC 50 GO	Tour 3	01/04/2003 INERIS	Granulomètre à laser	37 mm	268 mm	464 mm	-	-	/	6,2	406	110	St1
SERUM 40 MVS	Tour 1	01/04/2003 INERIS	Granulomètre à laser	115 mm	251 mm	435 mm	-	-	/	6,2	361	98	St1

Par hypothèse majorante, les produits non répertoriés dans le tableau ci-dessus seront assimilés au produit ayant les caractéristiques d'explosivité les plus fortes (Vegetalac 50 GO).

3.2. *PRESSION D'OUVERTURE DES SURFACES D'EVENT*

Les surfaces d'évent se composent :

- de bacs acier en toiture dans le cas du toit de bâtiment IRIS
- de bardages acier et châssis dans le cas des parois de bâtiment IRIS
- de surfaces spécifiques : surfaces d'évent sur cellules

La valeur usuelle d'ouverture des événements d'explosion tarés est de 100 mbar.

Les bacs et bardages acier auront également une valeur de rupture choisie comme étant de 100 mbar. Cette valeur est reprise dans le document INERIS DRA-11-127561-13591C du 23/12/11 « Détermination du caractère soufflable à une explosion de poussières interne de quelques éléments de structure usuels rencontrés dans les silos de stockage ».

Une valeur de 100 mbar sera prise en compte pour tous ces matériaux.

3.3. *PRESSION MAXIMALE ADMISSIBLE*

Pour les bâtiments (surfaces de toiture de type bacs acier et de murs de type bardage acier), la valeur retenue est équivalente à la valeur de pression d'ouverture des surfaces d'évent, soit 100 mbar, cette valeur ne pouvant être supérieure.

Les cellules sont cylindriques, les fûts de ce type de cellule ayant une très bonne résistance (de l'ordre de 1 bar rel.). La partie la moins résistante se situe au niveau du sommet qui est plat ou semi plat. La valeur de résistance maximale prise en compte est de 300 mbar.

3.4. *MODE DE CALCUL*

Les surfaces pouvant servir sont calculées avec Winvent 4.0 sur base de la norme EN 14491.

3.5. RESULTATS

La synthèse des surfaces d'évent nécessaire au regard des volumes de bâtiments et de cellules est la suivante :

Volume de bâtiment	L (m)	D ou Deq	L/D	Volume (m ³)	Pmax (bar)	Pred (mbar)	Pstat (mbar)	Kst (bar.m/s)	Surface d'évent calculée EN14491 (m ²)	Surface fragile prévue (m ²)
Etage +1 (entre +10,2 et +26,8 m)	34	25,2	1,35	13 300	6,2	100	100	110	174	> 1 000
Etage +3 (entre +26,8 et +35,6 m)	34	18,3	1,86	8 800	6,2	100	100	110	183	> 1 000
Etage +5 (entre +35,6 et +44,8 m)	34	18,7	1,82	8 700	6,2	100	100	110	177	> 1 000
Etage +6 (entre +44,8 et +50 m)	34	14,1	2,41	5 300	6,2	100	100	110	155	> 1 000
C1 C2 C3 C32	5,2	3,8	1,37	50	4,5	300	100	88	0,77	0,77
C30	5,2	3,8	1,37	50	6,2	300	100	110	1,19	1,19
C4 C33	5	2,9	1,72	30	4,5	300	100	88	0,63	0,63
CG1 CG2 C36 C37 C38 C40	5	2,9	1,72	30	6,2	300	100	110	0,98	0,98
C41	5	2,9	1,72	30	7,6	300	100	57	0,62	0,62
C35	4,75	2,1	2,26	15	4,5	300	100	88	0,45	0,45
C34	4,75	2,1	2,26	15	5,5	300	100	105	0,59	0,59
C31	4,75	2,1	2,26	15	6,2	300	100	98	0,62	0,62
C28 C29	5,23	3,8	1,37	50	6,2	300	100	110	1,19	1,19
PF3 PF4 PF5	4,93	2,7	1,82	25	6,2	300	100	110	0,89	0,89
PF1 PF2	4,75	2,1	2,26	15	6,2	300	100	110	0,70	0,70
PI1 C7 C12	10,2	3,3	3,09	120	6,2	300	100	110	4,02	4,02
C6	10,2	3,3	3,09	120	6,2	300	100	98	3,58	3,58
C8 C9 C10	6,46	2,7	2,39	37	6,2	300	100	110	1,43	1,43
C11	6,46	2,7	2,39	37	7,6	300	100	57	0,91	0,91
C20 C21 C22 C23, C24 C25 C27	6,13	1,5	4,08	12	9,3	300	100	112	1,24	1,24
C26	6,13	1,5	4,08	12	10	300	100	130	1,55	1,55

4. DISTANCES D'EFFETS LIEES A DES EXPLOSIONS DE POUSSIERES

4.1. SURPRESSIONS

4.1.1 Méthode d'évaluation des surpressions

La décroissance des surpressions extérieures est calculée sur base des indications du Guide de l'état de l'art sur les silos - version 3 (avril 2008).

La méthode utilisée dans la présente étude consiste à associer un calcul de Brode pour l'énergie et un indice multi-énergie pour les effets de pression.

Cette méthode repose :

- sur l'équation de Brode pour déterminer l'énergie disponible d'explosion ;
- sur la méthode multi-énergie pour évaluer l'atténuation des effets de pression.

Cette démarche a l'avantage de définir l'énergie « disponible » par rapport aux spécificités du contenant (pression de rupture et volume).

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

$$E = 3 \times V \times P_{\text{explosion}}$$

Avec :

- E : Energie de l'explosion de poussières en joules
- V : Volume de l'enceinte considérée en m³
- P_{explosion} : Pression relative maximale de l'explosion

La pression relative maximale d'explosion est calculée à l'aide de WinVent 3.1 en considérant les dimensions du volume concerné, les caractéristiques des poussières, les surfaces d'évent existantes dans chaque volume et les résistances des matériaux de construction des différents volumes.

La détermination des distances des effets de surpression s'effectue en appliquant la méthode multi-énergie.

La méthode Multi-Energie développée par le TNO Prins Maurits Laboratory (Van Den Berg, 1984) repose sur des principes de base directement inspirés des mécanismes qui gouvernent la génération des ondes de surpression lors des explosions de gaz.

En fait, le "concept Multi-Energie" diffère des méthodes classiques, notamment l'équivalent TNT, en ce sens qu'une explosion de gaz n'est plus considérée comme une entité mais éventuellement comme un ensemble "d'explosions élémentaires" se déroulant chacune dans diverses zones qui composent le nuage explosible.

Dans le cadre de l'application de la méthode Multi-Energie, la "violence" de chaque explosion élémentaire peut ensuite être caractérisée par un indice compris entre 1 et 10. L'indice 10 correspond à une détonation, les indices intermédiaires correspondant à des déflagrations à vitesses de flamme d'autant plus rapide que l'indice est élevé. Il est aussi possible de dire que ces indices caractérisent la puissance avec laquelle l'énergie est consommée pour engendrer des surpressions aériennes.

Le tableau ci-dessous rappelle la correspondance entre les surpressions maximales et les indices (compris entre 1 et 10).

Indice de la méthode (-)	Surpression maximale correspondante	
	(kPa)	(mbar)
1	1	10
2	2	20
3	5	50
4	10	100
5	20	200
6	50	500
7	100	1000
8	200	2000
9	500	5000
10	Entre 1 000 et 2 000	Entre 10 000 et 20 000

Tableau : correspondance entre les surpressions et les indices d'explosion

Le choix de l'indice est la phase délicate de la méthode « Multi-Energie » pour laquelle il n'existe pas aujourd'hui de méthode consensuelle.

Différentes recommandations ont été proposées pour les choix d'indice. Les plus fréquemment utilisées sont celles proposées :

- par l'auteur de la méthode (Van Den Berg, 1984),
- par Kinsella (Kinsella, 1993),
- par le TNO (TNO, 1997),
- dans les articles résultant du projet GAMES¹.

L'INERIS (INERIS, 1999) consacre un chapitre à la discussion de ces différentes recommandations. La préconisation réalisée par le TNO est directement applicable contrairement à celle du projet GAMES qui nécessite de collecter un nombre de données important. Selon le TNO, les recommandations conduisent à une estimation majorante des surpressions.

¹ Acronyme tiré de l'anglais "Guidance for Application of the Multi-Energie method" le "S" signifiant juste "second phase".

Ainsi, le TNO propose de choisir l'indice de l'explosion élémentaire sur la base des recommandations suivantes :

- retenir l'indice 10 pour tous les volumes correspondant à des zones encombrées d'obstacle,
- retenir l'indice 1 pour tous les volumes ne correspondant pas à des zones encombrées et lorsque les conditions d'accident sont telles que le nuage inflammable susceptible d'envahir ces zones peut être considéré au repos sur le plan dynamique (nuage formé suite à l'évaporation d'une flaque par exemple),
- retenir l'indice 3 pour tous les volumes ne correspondant pas à des zones encombrées et lorsque les conditions d'accident sont telles que le nuage inflammable susceptible d'envahir ces zones est caractérisé par une agitation turbulente importante (nuage formé consécutivement à un rejet de gaz combustible sous plusieurs bars de pression par exemple).

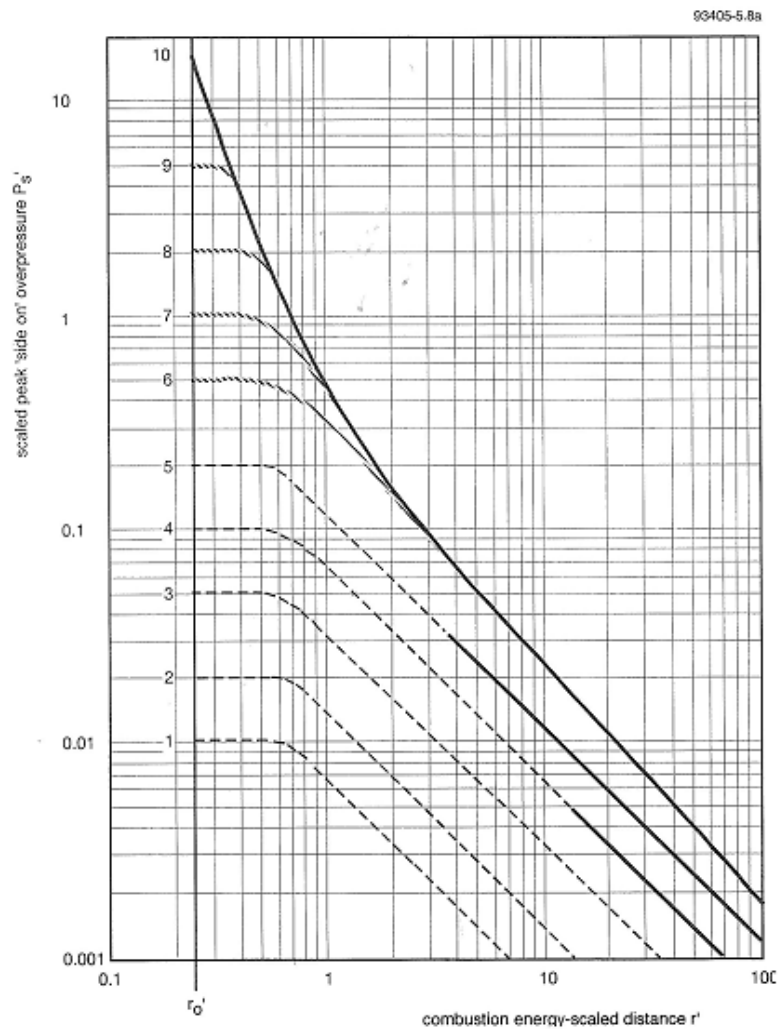


Figure 5.8A Multi-Energy method blast chart: peak side-on overpressure

S'agissant du choix de l'indice, compte tenu des niveaux de surpression atteints, un indice 7 au minimum devrait être retenu.

Cependant, compte tenu du fort degré de confinement, l'indice 10 semble adapté puisqu'on a à faire à un phénomène d'éclatement et de propagation d'onde de choc. Ce choix d'indice a de plus le mérite d'être conservatoire du point de vue des effets de surpressions attendus. Les courbes d'effets des indices 7, 8, 9 et 10 sont les mêmes pour l'estimation des distances d'effet des pressions résiduelles de 200 mbar, 140 mbar et 50 mbar.

Cette formule, respectant la physique du phénomène, donne les surpressions d'une onde de choc résultant d'un éclatement.

Ce choix est confirmé dans le guide silo d'avril 2008 qui recommande de retenir un indice 10 afin de tenir compte du fort degré de confinement.

Les seuils d'effets de surpression à déterminer sont présentés au chapitre suivant. L'arrêté du 29 septembre 2005 fixe 5 seuils : 300 mbar, 200 mbar, 140 mbar, 50 mbar, 20 mbar.

- $D_{300 \text{ mbar}} = 0,028 E^{1/3}$
- $D_{200 \text{ mbar}} = 0,032 E^{1/3}$
- $D_{140 \text{ mbar}} = 0,05 E^{1/3}$
- $D_{50 \text{ mbar}} = 0,11 E^{1/3}$

Avec :

- E : Energie de l'explosion de poussières en joules
- $D_{XX \text{ mbar}}$: Distance atteinte pour les surpressions de XX mbar en mètres

La distance correspondant au seuil à 20 mbar est prise comme le double de la distance à 50 mbar.

La hauteur de départ de l'explosion (c'est-à-dire la hauteur de bâtiment) est prise en compte si les murs du bâtiment sont résistants.

Valeurs relatives aux seuils des effets de surpressions :

La « surpression aérienne » considérée est la conséquence d'une explosion qui se manifeste par la propagation depuis la zone de l'explosion d'une onde de pression à travers l'atmosphère à une vitesse de l'ordre de celle des ondes acoustiques (300 à 400 m/s). Lorsqu'on mesure, en un point fixe de l'espace, les caractéristiques d'une telle onde, on observe une impulsion positive de pression dont la durée se mesure en général en millisecondes, suivie d'une phase de dépression.

Si l'explosion a pour origine la détonation d'une substance explosive, l'impulsion positive se caractérise par une très brusque montée (quasi-instantanée) jusqu'au maximum de pression suivie d'une décroissance quasi-linéaire. La phase négative est peu marquée.

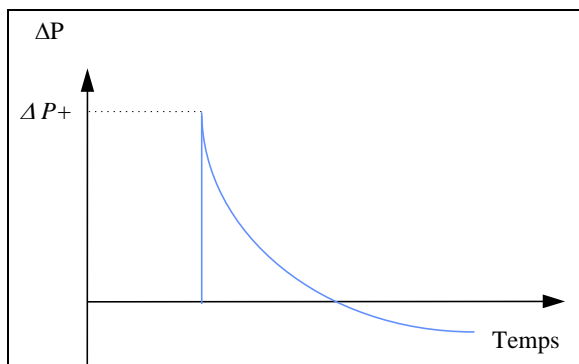


Figure relative à l'onde de pression dite « onde de choc »

En revanche, si l'explosion est une déflagration d'un nuage explosif de violence modérée (vitesse de flamme plus petite que 120 m/s), les taux de croissance et de décroissance de la surpression de l'impulsion positive sont du même ordre. La phase négative est presque une homothétie inversée de la phase positive (Lannoy, 1984).

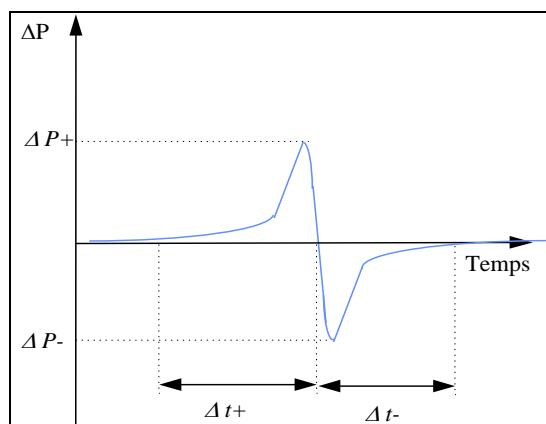


Figure relative à Onde de pression engendrée au droit d'une déflagration à vitesse de flamme modérée

La pression est une force par unité de surface susceptible d'induire des efforts de flexion ou de cisaillement dans les structures, éventuellement de compression pour le corps humain. Une onde de pression peut également propulser des projectiles.

Remarques sur les seuils d'effets sur l'homme :

D'une façon générale, il est admis que le risque de blessures est susceptible de se matérialiser lorsque les individus sont frappés par des fragments de vitres, de bois, des objets de décoration légers. Ce risque ne devrait pas être fatal tant que les structures plus lourdes comme les murs porteurs ne sont pas atteintes. Le niveau de surpression correspondant pour la détonation d'un explosif condensé est de l'ordre de 50 mbar (Clancey). Cependant les dégâts aux biens peuvent apparaître pour des niveaux de surpression plus faibles (20 mbar).

Dès que le risque d'effondrement apparaît, le risque léthal est présent, par effet d'écrasement ou de chocs de fragments massifs. On peut estimer que les dommages aux structures peuvent alors devenir suffisamment importants pour que les moyens de production industriels soient lourdement affectés, notamment les moyens de contrôle. On peut situer le début de ce risque vers 140 mbar (Baker, 1983 ; murs de briques, béton non renforcé) pour la détonation d'un explosif condensé. Ce seuil peut être considéré comme le seuil des premiers effets mortels (1%) dans la population.

L'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, donne les seuils d'effets sur les hommes à retenir. Il s'agit de :

- 200 mbar défini comme le seuil des effets létaux significatifs délimitant la zone des dangers très graves pour la vie humaine
- 140 mbar défini comme le seuil des premiers effets létaux délimitant la zone des dangers graves pour la vie humaine
- 50 mbar défini comme le seuil des effets irréversibles délimitant la zone des dangers significatifs pour la vie humaine
- 20 mbar défini comme le seuil des effets irréversibles délimitant la zone des effets indirects par bris de vitre sur l'homme. L'arrêté du 29 septembre 2005 précise que compte tenu des dispersions de modélisation pour les faibles surpressions, il peut être adopté pour la surpression de 20 mbar, une distance d'effet égale à 2 fois la distance d'effet obtenue pour une surpression de 50 mbar

Les seuils d'effets sur les structures correspondent quant à eux aux seuils de :

- 300 mbar comme limite de la zone des dégâts très graves aux structures
- 200 mbar comme limite des effets domino
- 140 mbar comme limite de la zone des dégâts graves aux structures
- 50 mbar comme limite de la zone des dégâts légers aux structures
- 20 mbar comme limite de la zone des destructions significatives des vitres

4.1.2 Résultats

Cas d'explosions étudiés	Volume explosible (m ³)	Hauteur de l'explosion (m)	Pression relative de l'explosion (mbar Joules)	Pressions atteintes au sol	Zones touchées
1 - Etage +1 bât. IRIS (entre +10,2 et +26,8 m)	13 300	10,2	100 mbar 3,99E+08	300 à 140 mbar non atteints 50 mbar à 80 m 20 mbar à 162 m	Site étudié, route, 1 habitation + habitations, champs
2 - Etage +3 bât. IRIS (entre +26,8 et +35,6 m)	8 800	26,8	100 mbar 2,64E+08	300 à 140 mbar non atteints 50 mbar à 65 m 20 mbar à 139 m	Site étudié, route + habitations, champs
3 - Etage +5 bât. IRIS (entre +35,6 et +44,8 m)	8 700	35,6	100 mbar 2,61E+08	300 à 50 mbar non atteints 50 mbar à 61 m 20 mbar à 136 m	Site étudié, route + habitations, champs
4 - Etage +6 bât. IRIS (entre +44,8 et +50 m)	5 300	44,8	100 mbar 1,59 E+08	300 à 140 mbar non atteints 50 mbar à 39 m 20 mbar à 110 m	Site étudié, route + habitations, champs
5 - Cellule 120 m3 existante	120	21,5	300 mbar 1,08E+07	300 à 140 mbar non atteints 50 mbar à 11 m 20 mbar à 44 m	Site étudié + route, champs
6 - Cellule 50 m3 haut de bâtiment	50	44,8	300 mbar 4,50E+06	300 à 50 mbar non atteints 20 mbar à 5 m	Site étudié
7 - Cellule 50 m3 bas de bâtiment	50	30,8	300 mbar 4,50E+06	300 à 50 mbar non atteints 20 mbar à 19 m	Site étudié
8 - Cellule 37 m3 existante	37	16,7	300 3,33E+06	300 à 50 mbar non atteints 20 mbar à 28 m	Site étudié
9 - Cellule 30 m3	30	44,8	300 2,70E+06	300 à 20 mbar non atteints	-
10 - Cellule 25 m3	25	17,8	300 2,25E+06	300 à 50 mbar non atteints 20 mbar à 23 m	Site étudié
11 - Cellule 15 m3 haut de bâtiment	15	44,8	300 1,35E+06	300 à 20 mbar non atteints	-
12 - Cellule 15 m3 bas de bâtiment	15	17,8	300 1,35E+06	300 à 50 mbar non atteints 20 mbar à 17 m	Site étudié
13 - Cellule 12 m3 existante	12	16,7	300 1,08E+06	300 à 50 mbar non atteints 20 mbar à 15 m	Site étudié

En cas d'explosion de poussière, les façades de bâtiment seront de nature peu résistante (résistance de 100 mbar) de sorte qu'en cas de transmission éventuelle d'un front de flamme / d'une explosion d'un étage de bâtiment vers un autre volume de bâtiment, il n'y a pas d'augmentation des niveaux de pression à attendre du fait d'une explosion secondaire.

4.2. EFFONDREMENT

4.2.1 Méthodologie

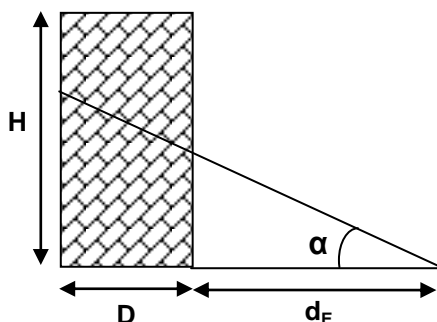
La méthode de calcul des distances d'effondrement utilisée est décrite dans le guide de l'état de l'art sur les silos d'avril 2008 et dans l'arrêté silos plats du 26 novembre 2012. Dans la mesure où l'on ne peut pas a priori déterminer les modalités d'éventration d'une cellule, seul un calcul permettant d'accéder à un ordre de grandeur de cette distance peut être envisagé.

Les hypothèses de calcul sont les suivantes :

- Le problème posé est mono-directionnel, c'est-à-dire que l'on considère uniquement la rupture de la paroi extérieure
- Les capacités sont supposées pleines de grain
- Les quantités de grain que l'explosion pourrait disperser dans l'atmosphère sont négligées (tout le grain contenu dans la capacité est supposé disponible pour ensevelir personnes et biens au voisinage immédiat du silo)

Dans ces conditions, il y a lieu de tenir compte de l'angle de talutage naturel du grain, et le problème se ramène à calculer la distance (d_E) qui est le pied d'un triangle rectangle dont la section est égale à celle du maître-couple de la cellule, conformément aux schémas suivants :

Silos verticaux ($H > D$) :



$$d_E = \sqrt{\frac{2HD}{\tan(\alpha)}} - D$$

4.2.2 Résultats

Capacité	H produit (m)	Diamètre capacité (m)	Distance avec farine* (m)
14 - Cellule cylindrique	12,85	3,3	12

* depuis le bord de boisseau, angle de talutage : 20° pour la farine.

Les zones touchées sont limitées au site.

NB : les formules de calcul employées sont majorantes dans la mesure où un épanchement de produit se traduirait en fait par un cône sous cellules qui sont suspendues.

5. EVALUATION DE LA CRITICITE DES PHENOMENES DANGEREUX ETUDIES

5.1. ÉCHELLE D'APPRECIATION DE LA GRAVITE DES CONSEQUENCES HUMAINES

L'échelle d'appréciation de la gravité des conséquences humaines d'un accident à l'extérieur des installations est donnée par l'arrêté du 29 septembre 2005 :

Valeur de la gravité G/personne	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
Désastreux	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1 000 personnes exposées
Catastrophique	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1 000 personnes exposées
Important	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
Sérieux	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
Modérée	Pas de zone de létalité hors de l'établissement		Présence humaine exposée à des effets irréversibles inférieure à « une personne »

Personne exposée : en tenant compte le cas échéant des mesures constructives visant à protéger les personnes contre certains effets et la possibilité de mise à l'abri des personnes en cas d'occurrence d'un phénomène dangereux si la cinétique de ce dernier et de la propagation de ses effets le permettent.

5.2. DETERMINATION DES "EQUIVALENTS PERSONNES EN PERMANENCE"

Pour le comptage du nombre de personnes à prendre en compte, nous avons retenu dans la suite de l'étude, les propositions formulées dans la Fiche 1 du 28/12/2006 intitulée EDD : « Eléments pour la détermination de la gravité des accidents » réalisée par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable.

Conformément à la circulaire du 24/07/2007 relative à la prise en compte des effets de projection dans les études de dangers :

- les informations recueillies n'ont pas pour autant à être prises en compte dans les démarches de porter à connaissance et de maîtrise de l'urbanisation,
- les effets de projections ne sont usuellement pas pris en compte dans la détermination de l'aléa dans le cadre des PPRT notamment par manque de données fiables dans la plupart des secteurs d'activité.

Ainsi, les effets de projections éventuelles ne seront pas pris en compte dans la détermination des gravités d'accidents.

Le trafic sur la RD 4 est estimé à 2 000 véhicules/j.

La détermination de la gravité est réalisée pour chaque scénario ayant des effets irréversibles sortant du site au paragraphe suivant. Pour les scénarios dont les effets irréversibles ne sortent pas des limites de propriété, la gravité est hors grille.

5.3. GRAVITE DES PHENOMENES DANGEREUX

PhD 1 : explosion étage +1

		Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
Cibles atteintes	surpression	-	-	Site étudié, RD4 sur environ 120 m, bordure 1 habitation
Nombre de personnes dans la zone	surpression	-	-	< 4
Niveau de gravité		Gravité 1 : modéré		

PhD 2 : explosion étage +3

		Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
Cibles atteintes	surpression	-	-	Site étudié, RD4 sur environ 100 m
Nombre de personnes dans la zone	surpression	-	-	< 1
Niveau de gravité		Gravité 1 : modéré		

PhD 3 : explosion étage +5

		Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
Cibles atteintes	surpression	-	-	Site étudié, RD4 sur environ 100 m
Nombre de personnes dans la zone	surpression	-	-	< 1
Niveau de gravité		Gravité 1 : modéré		

PhD 4 : explosion étage +6

		Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
Cibles atteintes	surpression	-	-	Site étudié, RD4 sur environ 100 m
Nombre de personnes dans la zone	surpression	-	-	< 1
Niveau de gravité		Gravité 1 : modéré		

5.4. CRITICITE

La criticité des scénarios étudiés est replacée dans la grille de criticité suivante.

Conséquence		Probabilité				
		1	2	3	4	5
Niveau de gravité	Personnes	« événement possible mais extrêmement peu probable » jamais survenu	« événement très improbable » survenu dans l'industrie mais ayant fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité	« événement improbable » survenu dans l'industrie ayant fait l'objet de mesures correctives ne garantissant pas une réduction significative de sa probabilité	« événement probable » s'est déjà produit et/ou peut se produire	« événement courant » s'est déjà produit et/ou peut se produire à plusieurs reprises malgré d'éventuelles mesures correctives
			10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}
5 Désastreux	SELS > 10p SEL > 100p SEI > 1 000p					
4 Catastrophique	SELS ≤ 10p 10p ≤ SEL ≤ 100p 100p ≤ SEI ≤ 1 000p					
3 Important	SELS ≤ 1p 1p ≤ SEL ≤ 10p 10p ≤ SEI ≤ 100p					
2 Sérieux	SEL < 1p SEI < 10p			PhD 1		
1 Modéré	Pas de zone de létalité hors de l'établissement SEI < 1p			PhD 2 à 5		

- Cases en vert : risque acceptable
- Cases en orange : risque acceptable avec mise en œuvre de Mesures de Maîtrise des Risques
- Cases en rouge : risque inacceptable

La probabilité de survenue d'une explosion généralisée de ce type est évaluée entre 10^{-4} et 10^{-3} .

Les scénarios étudiés se situent dans la zone acceptable de la grille de criticité voire hors grille (tous les effets limités au site, cas des autres PhD n° 5 à 14).

6. CONCLUSION

Synthèse générale

Les différents volumes se composent :

- Des niveaux du bâtiment IRIS
- Des cellules existantes ou en projet à l'intérieur de ce bâtiment

Les surfaces d'évent ont été calculées sur les différents volumes en projet. Chaque volume disposera de surfaces pouvant servir d'évent d'explosion.

Les distances d'effet correspondant aux effets modélisés ci-dessous ayant des effets en dehors du site ont été tracées sur plans repris en annexe.

Récapitulatif des effets liés aux surpressions

Cas d'explosions étudiés	Volume explosible (m ³)	Hauteur de l'explosion (m)	Pression relative de l'explosion (mbar, Joules)	Pressions atteintes au sol	Zones touchées
1 - Etage +1 bât. IRIS (entre +10,2 et +26,8 m)	13 300	10,2	100 mbar 3,99E+08	300 à 140 mbar non atteints 50 mbar à 80 m 20 mbar à 162 m	Site étudié, route, 1 habitation + habitations, champs
2 - Etage +3 bât. IRIS (entre +26,8 et +35,6 m)	8 800	26,8	100 mbar 2,64E+08	300 à 140 mbar non atteints 50 mbar à 65 m 20 mbar à 139 m	Site étudié, route + habitations, champs
3 - Etage +5 bât. IRIS (entre +35,6 et +44,8 m)	8 700	35,6	100 mbar 2,61E+08	300 à 50 mbar non atteints 50 mbar à 61 m 20 mbar à 136 m	Site étudié, route + habitations, champs
4 - Etage +6 bât. IRIS (entre +44,8 et +50 m)	5 300	44,8	100 mbar 1,59 E+08	300 à 140 mbar non atteints 50 mbar à 39 m 20 mbar à 110 m	Site étudié, route + habitations, champs
5 - Cellule 120 m3 existante	120	21,5	300 mbar 1,08E+07	300 à 140 mbar non atteints 50 mbar à 11 m 20 mbar à 44 m	Site étudié + route, champs
6 - Cellule 50 m3 haut de bâtiment	50	44,8	300 mbar 4,50E+06	300 à 50 mbar non atteints 20 mbar à 5 m	Site étudié
7 - Cellule 50 m3 bas de bâtiment	50	30,8	300 mbar 4,50E+06	300 à 50 mbar non atteints 20 mbar à 19 m	Site étudié
8 - Cellule 37 m3 existante	37	16,7	300 3,33E+06	300 à 50 mbar non atteints 20 mbar à 28 m	Site étudié
9 - Cellule 30 m3	30	44,8	300 2,70E+06	300 à 20 mbar non atteints	-
10 - Cellule 25 m3	25	17,8	300 2,25E+06	300 à 50 mbar non atteints 20 mbar à 23 m	Site étudié
11 - Cellule 15 m3 haut de bâtiment	15	44,8	300 1,35E+06	300 à 20 mbar non atteints	-
12 - Cellule 15 m3 bas de bâtiment	15	17,8	300 1,35E+06	300 à 50 mbar non atteints 20 mbar à 17 m	Site étudié
13 - Cellule 12 m3 existante	12	16,7	300 1,08E+06	300 à 50 mbar non atteints 20 mbar à 15 m	Site étudié

Les seuls cas ayant des effets irréversibles en dehors du site sont les cas 1 à 4. Il s'agit des cas d'explosions généralisées des étages concernés.

Récapitulatif des effets liés à un effondrement de cellule

Capacité	H produit (m)	Diamètre capacité (m)	Distance avec farine* (m)
Cellule cylindrique	12,85	3,3	12

* depuis le bord de boisseau, angle de talutage : 20° pour la farine.

Même dans le cas des cellules les plus volumineuses, les effets sont circonscrits au site.

Annexe : tracé des zones d'effets liées aux surpressions

