



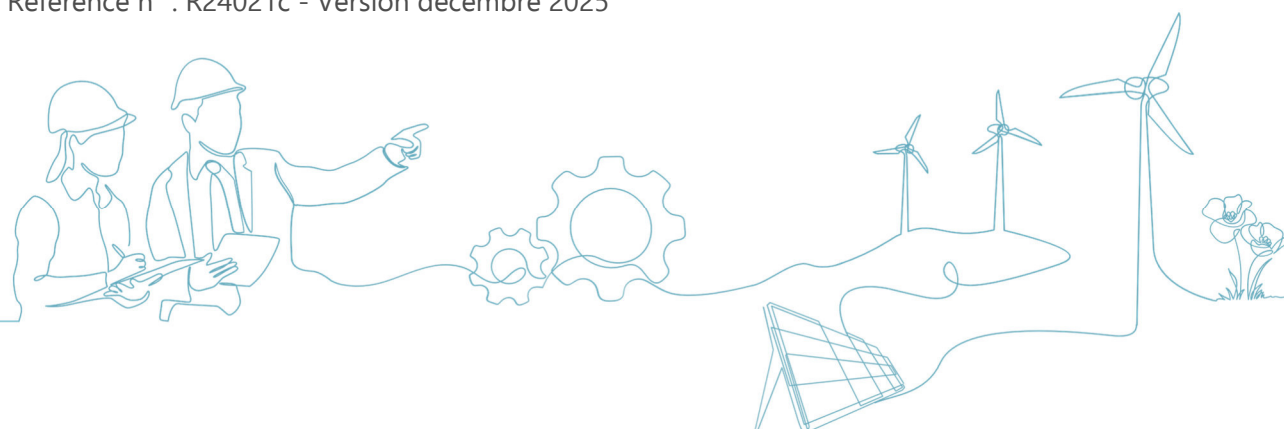
# Ecole Centrale Nantes

Laboratoire de recherche en Hydrodynamique,  
Energétique, et Environnement Atmosphérique  
(LHEEA)

Projet PLEX-H2

## Zonage ATEX des locaux dédiés à l'équipe Décarbonation et Dépollution des Systèmes Energétiques (D2SE)

Référence n° : R24021c - Version décembre 2025



Maîtrise des risques industriels, professionnels, environnementaux

# Fiche signalétique

Client			
Raison sociale	Ecole Centrale Nantes		
Adresse du siège social	1 rue de la Noë 44321 Nantes Cedex 3		
Interlocuteur	Mathieu POTTIER	Responsable développement projets	mathieu.pottier@ec-nantes.fr

Site	
Nom du site	Laboratoire de recherche en Hydrodynamique, Energétique, et Environnement Atmosphérique (LHEEA)
Adresse du site	1 rue de la Noë - Nantes
Activité exercée	Recherche

Document			
Référence	R24021		
Référence projet Néodyme	P24033		
Titre du rapport	Zonage ATEX des locaux dédiés à l'équipe Décarbonation et Dépollution des Systèmes Energétiques (D2SE)   Projet PLEX-H2		
Version du rapport	c	16/12/2025	Version validée
	b	09/12/2025	Version pour validation en attente de confirmation de certains éléments indiqués en commentaires
	a	08/01/2025	Version brouillon considérant les installations existantes sans prise en compte du projet PLEX-H2

Rédacteur	Vérificateur
Yann DUREL Responsable projet Néodyme	Sylvain GRIAUD Directeur des opérations Néodyme

Seules sont autorisées les copies intégrales du présent rapport pour des fins prévues à la commande de l'étude.  
Toute reproduction intégrale ou partielle faite sans autorisation est illicite et constitue une contrefaçon.  
Version V01 – juillet 2024

## Objet

L'Ecole Centrale Nantes (ECN) est une des composantes de l'Université de Nantes qui forme principalement des ingénieurs généralistes et dispose également de programmes de formation pour ingénieurs en alternance, mastères spécialisés, master de recherche et doctorat.

L'Ecole Centrale Nantes a pour projet de réorganiser les espaces de ses bâtiments pour répondre aux besoins d'extension des moyens de recherche de l'équipe « Décarbonation et Dépollution des Systèmes Énergétiques (D2SE) » au sein du Laboratoire de recherche en Hydrodynamique, Énergétique, et Environnement Atmosphérique (LHEEA).

L'Ecole Centrale Nantes a lancé un appel à candidature/offre pour un marché de maîtrise d'œuvre dans le cadre de l'intégration d'une plateforme expérimentale « banc frein moteur » à combustion hydrogène pour lequel un groupement composé d'IMING, de BCF architectures et de MPSI a été retenue. Néodyme est sous-traitant d'IMING pour la réalisation du zonage ATEX.

Néodyme est donc chargé de réaliser l'évaluation du risque de formation d'atmosphères explosives sur le périmètre des locaux exploités par l'équipe D2SE sur une partie du bâtiment H du campus de l'Ecole Centrale Nantes

L'objet de ce rapport est de présenter le résultat de la définition des zones à formation possible d'atmosphères explosives.

La réalisation de cette étude a nécessité l'intervention de l'ingénieur d'études sur site le 17/09/2024, accompagné par M. Mathieu POTTIER, responsable des projets de développement et M. Pascal CHESSE, responsable de l'équipe Énergétique des Moteurs à Combustion Interne pour l'ECN.

Le présent rapport ne couvre pas la réalisation d'un audit d'adéquation du matériel ni la réalisation de l'évaluation des risques d'explosion pour les travailleurs.

# Sommaire

1.	Cadre de l'étude.....	8
1.1.	Périmètre de l'étude.....	8
1.2.	Contexte réglementaire .....	9
1.3.	Définitions .....	11
2.	Présentation du site.....	14
2.1.	Localisation du site d'étude .....	14
2.2.	Description des installations .....	14
2.2.1.	Installations existantes sans modification dans le cadre du projet.....	16
2.2.2.	Nouvelles installations dans le cadre du projet .....	17
2.2.3.	Utilités .....	18
2.3.	Modalités de fonctionnement du site.....	19
2.4.	Retour d'expérience sur la prise en compte du risque d'explosion sur le site d'étude.....	19
3.	Classement des emplacements dangereux .....	20
3.1.	Méthodologie générale de classement .....	20
3.2.	Détermination des substances pouvant générer une ATEX.....	20
3.2.1.	Gaz et vapeurs .....	20
3.2.2.	Poussières.....	22
3.3.	Identification des sources de dégagement.....	22
3.3.1.	Stockage de carburants liquides .....	23
3.3.2.	Nourrices de carburants liquides .....	23
3.3.3.	Parc à gaz .....	25
3.3.4.	Bouteille d'HELID-S dans le local des CTA .....	26
3.3.5.	Circuit de distribution de carburants entre les stockages et les cellules bancs d'essai .....	27
3.3.6.	Cellule banc d'essai n°1 .....	28
3.3.7.	Cellule banc d'essai n°2.....	28
3.3.8.	Cellule banc d'essai n°3.....	29
3.3.9.	Stockage de produits chimiques en petits contenants en armoire dédiée.....	29
3.3.10.	Projet cellule banc marin 1 MW.....	29
3.3.11.	Projet cellule banc marin 500 kW .....	31
3.3.12.	Synthèse des sources de dégagement .....	31
3.4.	Caractérisation du taux et du degré de dégagement des sources .....	32
3.5.	Caractérisation de la ventilation.....	35
3.6.	Proposition de zonage ATEX .....	40
4.	Réflexion sur le déclassement des zones ATEX.....	46
4.1.	Réflexions générales sur le déclassement .....	46
4.2.	Réflexions spécifiques relatives à certaines zones ATEX.....	46
4.2.1.	Retrait des équipements non nécessaires.....	46
4.2.2.	Mise en place d'une ventilation .....	47
	<b>ANNEXES .....</b>	<b>48</b>



## Liste des annexes

Annexe 1 : Etude de faisabilité du projet HYMOT – Assistance au classement des zones ATEX / Revue réglementaire ICPE

## Liste des figures

Figure 1 : Emprise du projet PLEX-H2 .....	8
Figure 2 : Extrait du plan de masse du site d'étude.....	15
Figure 3 : Plan de rez-de-chaussée des locaux actuels .....	16
Figure 4 : Plan de rez-de-chaussée des locaux en situation projetée .....	17
Figure 5 : Etapes pour la détermination des zones ATEX.....	20
Figure 6 : Cuve de gazole et évent de respiration.....	23
Figure 7 : Cuves d'essence SP-95 enterrées et événements de respiration .....	23
Figure 8 : Nourrices de carburants liquides en R+1 du local des bancs d'essai 4 et 5.....	24
Figure 9 : Nourrice essence sans plomb.....	24
Figure 10 : Sortie d'évent sur la façade Nord du bâtiment.....	24
Figure 11 : Stockage des racks de bouteilles d'hydrogène au parc à gaz .....	25
Figure 12 : Système de détente et distribution d'hydrogène depuis le stockage vers les installations utilisatrices.....	25
Figure 13 : Bouteilles de gaz non lignées au parc à gaz.....	25
Figure 14 : Bouteilles de gaz dont des gaz inflammables dont certaines sont raccordés au réseau de distribution après détente.....	25
Figure 15 : Événements de purge du circuit hydrogène .....	26
Figure 16 : Base des événements de purge du circuit hydrogène .....	26
Figure 17 : Bouteille d'HELID-S (mélange contenant 40% d'hydrogène) dans le local des CTA.....	27
Figure 18 : Electro-vanne, vanne manuelle et baromètre sur la tuyauterie d'essence .....	28

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Définition des zones en fonction du nombre d'heures indicatif de présence d'une ATEX .....	10
Tableau 2 : Gaz stockés au parc à gaz.....	18
Tableau 3 : Classes de dangers des substances et mélanges inflammables.....	21
Tableau 4 : Liste des substances ou mélanges susceptibles de former une atmosphère explosive sur le site d'étude .....	21

Tableau 5 : Synthèse des sources de dégagement identifiées.....	31
Tableau 6 : Caractérisation du degré de dégagement des sources identifiées.....	33
Tableau 7 : Caractérisation de la ventilation pour les sources de dégagement non poussiéreuses.....	35
Tableau 8 : Zonage ATEX du site d'étude.....	41

---

## Références

- [01] Guide de bonne pratique à caractère non contraignant en vue de la mise en œuvre de la directive 1999/92/CE du Parlement européen et du Conseil
- [02] Norme NF EN IEC 60079-10-1 Version de février 2021, Atmosphères explosives, Partie 10-1 : Classification des emplacements – Atmosphères explosives gazeuses
- [03] Recommandation de l'American Petroleum Institute (API) n°505 datant 1997
- [04] Norme NF EN 60079-10-2 Version de mai 2015, Atmosphère explosives, Partie 10-2 : Classement des emplacements – Atmosphères explosives poussiéreuses
- [05] Guide pour la détermination des zones à risque d'explosion 0, 1 et 2 dans les industries pétrolières et pétrochimiques – Rapport 2004/01 - GESIP

# 1. CADRE DE L'ETUDE

## 1.1. Périmètre de l'étude

L'Ecole Centrale Nantes souhaite réaménager les locaux exploités pour l'équipe Décarbonation et Dépollution des Systèmes Énergétiques (D2SE) situés à cheval sur les bâtiments H et I au sein du campus comme indiqué sur le plan ci-dessous.



Figure 1 : Emprise du projet PLEX-H2

Au sein de ce bâtiment, sont exploités des laboratoires d'essai de moteurs à combustion en vue d'étudier leur fonctionnement. L'ECN est lancé dans une stratégie de développement des technologies « Hydrogène » par le biais de plusieurs programmes de recherche. Le projet PLEX-H2 entre dans ce cadre là puisqu'il a pour but l'étude et la recherche sur les moteurs à combustion d'hydrogène. Ce projet est financé par la Région Pays-de-la-Loire. A noter que le laboratoire, actuellement permet la réalisation d'essais et d'études sur des moteurs à combustion alimentés avec des combustibles liquides « classiques ».

Ces activités nécessitent le stockage et l'utilisation de combustibles liquides (essence sans-plomb, diesel) ou gazeux (hydrogène) inflammables et ainsi aboutir à la formation potentielle d'ATmosphères EXplosives (ATEX). Une ATEX est un volume de matières inflammables (gaz, vapeurs, poussières) mélangées à l'air dont la combustion, après ignition du nuage, se propage à l'ensemble du volume en émettant une onde de pression due à l'expansion rapide du mélange en combustion.

La présente étude concerne l'ensemble du laboratoire d'essai concerné par le projet PLEX-H2, en situation projetée, intégré à cheval sur les bâtiments H et I du campus de l'ECN.

## 1.2. Contexte réglementaire

La réglementation européenne relative aux atmosphères explosives est composée historiquement de deux directives :

- › La directive 2014/34/UE concerne la mise sur le marché des appareils et systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosibles (directive dite « fabricants »).
- › La directive 1999/92/CE précise les exigences minimales à atteindre pour la sécurité des travailleurs susceptibles d'être confrontés à une atmosphère explosive.

Ces textes ont été transcrits en droit français par les arrêtés et décrets suivants :

- › Arrêté du 8 juillet 2003 : protection des travailleurs en zone ATEX.
- › Arrêté du 28 juillet 2003 : conditions d'installation des matériels électriques en zone ATEX.
- › Décret n°2002-1553 du 24 décembre 2002 : dispositions applicables aux lieux de travail.
- › Décret n°2002-1554 du 24 décembre 2002 : dispositions applicables lors de la construction des lieux de travail.

En application des arrêtés du 8 et 28 juillet 2003, les décrets 2002-1553 et 1554 du 24 décembre 2002 modifient le code du travail par l'ajout de deux sous-sections :

- › Décret n°2002-1553 du 24 décembre 2002, relatif aux dispositions applicables aux lieux de travail : ajout d'une sous-section 6 « Prévention des explosions » à la section IV du chapitre II du titre III du livre II (désormais recodifié : articles R. 4227-42 à R. 4227-54),
- › Décret n°2002-1554 du 24 décembre 2002, relatif aux dispositions applicables lors de la construction des lieux de travail : ajout d'une sous-section 8 « Prévention des explosions » à la section IV du chapitre V du titre III du livre II (désormais recodifié : article R. 4216-31).

Selon le décret n°2002-1553, l'ensemble des obligations imputées aux chefs d'établissement est décrit à travers les articles R-4227-42 à R4227-54 du Code du travail. Il en découle notamment pour l'exploitant les obligations suivantes.

La présente étude s'attache à répondre à l'article R.4227-50 du Code du Travail :

*« L'employeur subdivise en zones les emplacements dans lesquels des atmosphères explosives peuvent se présenter et veille à ce que les prescriptions minimales visant à assurer la protection des travailleurs soient appliquées dans ces emplacements. Des arrêtés conjoints des ministres chargés du travail et de l'agriculture déterminent les règles de classification des emplacements et les prescriptions minimales mentionnées au premier alinéa. »*

L'application de la réglementation « ATEX » permet d'évaluer le risque d'explosion en s'appuyant sur une démarche qui ne tient pas compte des défaillances catastrophiques ou des rares dysfonctionnements. [01]

A ce titre, le guide de la directive 1999/92/CE du Parlement européen précise que :

*« Lors de l'évaluation d'installations nouvelles ou existantes, il est tenu compte notamment des conditions de fonctionnement suivantes :*

- les conditions normales de service, y compris les travaux de maintenance ;*
- le démarrage et l'arrêt ;*
- les accidents d'exploitation et les pannes prévisibles ;*
- les mauvais usages raisonnablement prévisibles. »*

On rappelle que selon la norme NF EN IEC 60079-10-1 [02], les dysfonctionnements rares incluent la défaillance des commandes de processus séparées et indépendantes, qui peuvent être automatisées ou manuelles, et qui pourraient déclencher une série d'événements donnant lieu à un dégagement important de substance inflammable. Les dysfonctionnements rares peuvent également inclure les conditions imprévues non couvertes par les études et plans des installations (la corrosion imprévue donnant lieu à un dégagement, par exemple). Lorsque des dégagements dus à la corrosion ou à des conditions analogues peuvent ou pourraient être raisonnablement prévus dans le cadre de l'exploitation de l'installation, il ne s'agit pas d'un dysfonctionnement rare.

La recommandation 505 de l'API [03] donne un nombre d'heures indicatif de présence d'une ATEX. Cette estimation figure sur le tableau suivant.

Tableau 1 : Définition des zones en fonction du nombre d'heures indicatif de présence d'une ATEX

Zone	0/20	1/21	2/22	Néant	
Heures/an	8760 h	1000 h	10 h	1 h	0
% du temps de présence	100%	≈ 10%	≈0,1%	≈0,01%	0%
Marche normale					
Dysfonctionnement prévisible					

La réalisation du classement en zones ATEX ne tient donc pas compte des risques dont la probabilité d'apparition d'une zone ATEX est faible ( $< 0,01\%$ ). En effet, il est possible de ne pas définir de zone ATEX dans un emplacement alors que la probabilité qu'une ATEX s'y forme n'est pas nulle. Ces emplacements sont caractérisés de non dangereux.

La présente étude ne s'intéresse pas à l'analyse des sources d'inflammation potentiellement présentes au sein des atmosphères explosibles identifiées.

## 1.3. Définitions

### *ATEX : ATmosphère Explosive*

Tout mélange avec l'air, dans les conditions atmosphériques\*, de substances inflammables sous forme de gaz, vapeurs, brouillards ou poussières, dans lesquels, après inflammation, la combustion se propage à l'ensemble du mélange non brûlé.

\* Conditions atmosphériques :  $-20^{\circ}\text{C} < T < 60^{\circ}\text{C}$  et  $-0.8 \text{ bars} < P < 1.1 \text{ bars}$  [01]

### *Batterie étanche*

C'est une batterie dont le taux de recombinaison des gaz est supérieur à 95%. La mise en place de ce type de batterie ne suffit pas à supprimer le risque ATEX.

### *Dysfonctionnement rare*

Type de dysfonctionnement pouvant se produire mais uniquement dans de rares cas. Les dysfonctionnements rares incluent la défaillance des commandes de processus séparées et indépendantes, qui peuvent être automatisées ou manuelles, et qui pourraient déclencher une série d'événements donnant lieu à un dégagement important de substance inflammable. Les dysfonctionnements rares peuvent également inclure les conditions imprévues non couvertes par les études et plans des installations (la corrosion imprévue donnant lieu à un dégagement, par exemple). Lorsque des dégagements dus à la corrosion ou à des conditions analogues peuvent ou pourraient être raisonnablement prévus dans le cadre de l'exploitation de l'installation, il ne s'agit pas d'un dysfonctionnement rare [02].

### *Dysfonctionnement prévisible*

C'est un dysfonctionnement qui n'est pas rare (cf. définition ci-dessus). Il comprend (cf. le paragraphe 2 de [03]) :

- › les accidents d'exploitation et les pannes prévisibles ;
- › les mauvais usages raisonnablement prévisibles.

### *Emplacement dangereux (en raison d'atmosphères explosives gazeuses)*

Emplacement dans lequel une atmosphère explosive gazeuse est présente, ou dans lequel on peut s'attendre à ce qu'elle soit présente, en quantité suffisante pour nécessiter des précautions particulières pour la construction, l'installation et l'utilisation d'équipements.

### *Fonctionnement normal*

Situation dans laquelle le matériel fonctionne dans les conditions normales de service, y compris les phases de démarrage et d'arrêt et les travaux de maintenance.

Note 1 à l'article : Des défaillances (la rupture de garnitures d'étanchéité de pompe ou de joints d'étanchéité de brides ou des déversements accidentels, par exemple) qui entraînent une réparation ou un arrêt ne sont pas considérées comme faisant partie du fonctionnement normal.

Note 2 à l'article : Le fonctionnement normal inclut les conditions de démarrage et d'arrêt, ainsi que l'entretien courant, mais exclut le démarrage initial de la mise en service.

### *Liquide inflammable*

Liquide capable de produire une vapeur inflammable dans toute condition d'exploitation prévisible.

### *Point d'ébullition*

Température à laquelle un liquide bout à la pression ambiante de 101,3 kPa (1 013 mbar).

### *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.

### *Substance inflammable*

Substance inflammable par elle-même ou capable de produire un gaz, une vapeur ou un brouillard inflammable.

### *Température d'inflammation d'une atmosphère explosive gazeuse*

Température la plus basse d'une surface chaude qui, dans des conditions spécifiées, enflammera une substance inflammable sous la forme d'un mélange de gaz ou de vapeur avec l'air.

### *Température d'auto-inflammation (TAI)*

Température la plus basse provoquant l'inflammation d'une substance inflammable sous forme de gaz ou de vapeurs sans apport extérieur d'énergie.

### *Zone 0 respectivement 20*

Emplacement dans lequel une atmosphère explosive gazeuse, respectivement poussiéreuse, est présente en permanence, ou pour de longues périodes ou fréquemment.



*Zone 1 respectivement 21*

Emplacement dans lequel une atmosphère explosive gazeuse, respectivement poussiéreuse, est susceptible de se présenter périodiquement ou occasionnellement en fonctionnement normal.

*Zone 2 respectivement 22*

Emplacement dans lequel une atmosphère explosive gazeuse, respectivement poussiéreuse, n'est pas susceptible de se présenter en fonctionnement normal mais qui, si c'est le cas, peut exister uniquement sur une durée courte.

## 2. PRESENTATION DU SITE

La compréhension des éléments relatifs à l'activité et aux installations du site objet de l'étude est un préalable nécessaire à la suite de l'étude.

### 2.1. Localisation du site d'étude

Le site d'étude se situe à l'adresse suivante :

1 rue de la Noë - 44321 Nantes Cedex 3

Le campus de l'Ecole Centrale Nantes est représenté sur la Figure 1. Les bâtiments H et I se situent en son cœur. Le laboratoire concerné par le projet PLEX-H2 se situe à cheval entre les bâtiments H et I.

### 2.2. Description des installations

Un extrait du plan de masse du site d'étude intégrant le projet PLEX-H2 est présenté sur la figure suivante. Ce plan a été réalisé dans le cadre du projet d'intégration d'une plateforme expérimentale banc frein pour moteur à combustion d'hydrogène PLEX-H2 au stade de l'avant-projet sommaire (APS).

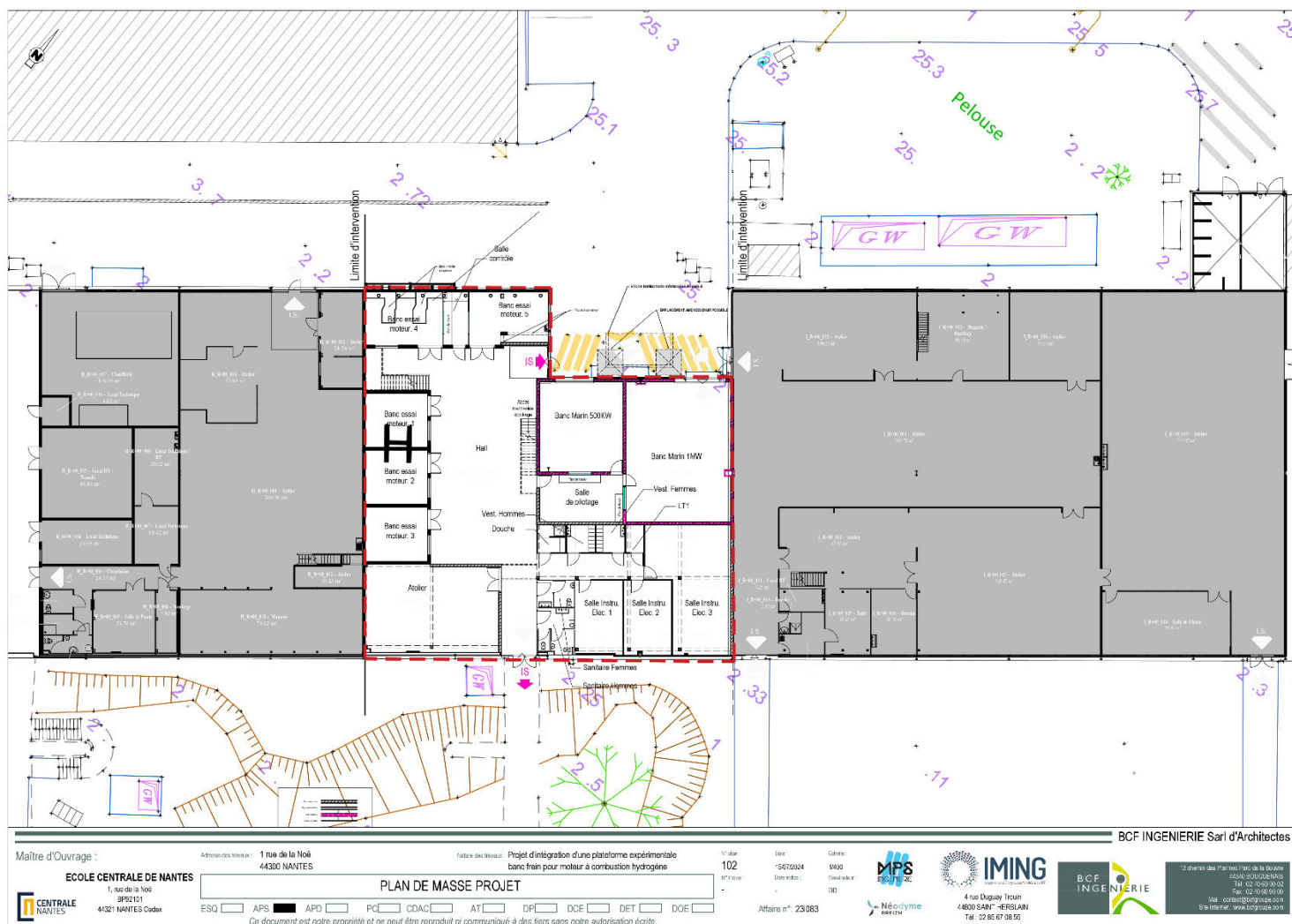


Figure 2 : Extrait du plan de masse du site d'étude

Les installations exploitées sur le site sont présentées ci-après.

### 2.2.1. Installations existantes sans modification dans le cadre du projet

Le laboratoire permet actuellement la réalisation d'essais sur des moteurs à combustion alimentés par des combustibles « classiques ». Le plan de rez-de-chaussée des installations existantes est présenté ci-après.

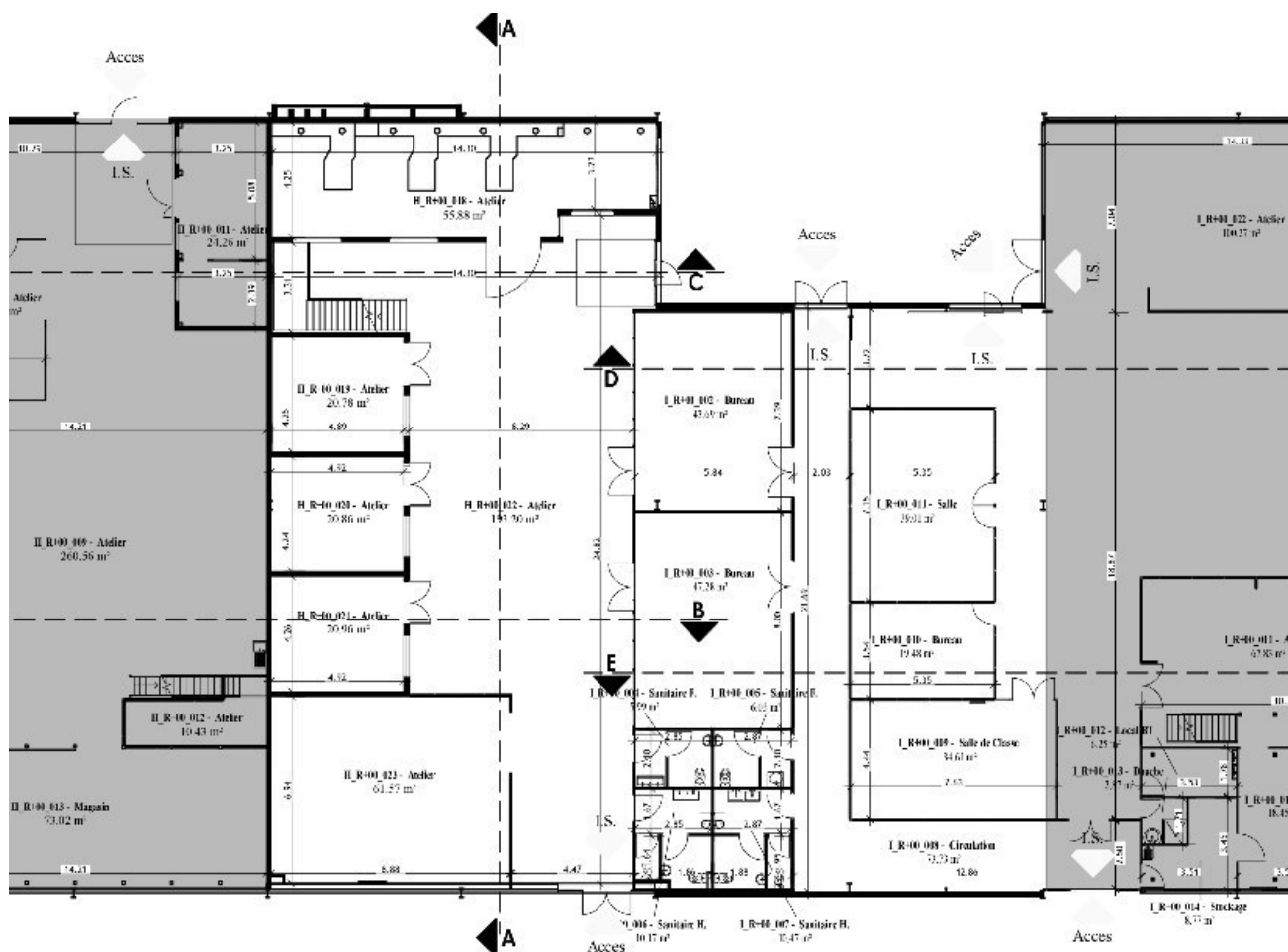


Figure 3 : Plan de rez-de-chaussée des locaux actuels

Les installations dont la vocation restera inchangée sont les suivantes :

- › L'atelier de maintenance situé sur la façade Sud (qui sera agrandi d'une dizaine de mètres carrés).
- › Les 3 bancs d'essais moteurs situés à côté de l'atelier et directement accessibles depuis le hall.
- › Les sanitaires, qui seront néanmoins réduits de moitié.

A noter que le banc d'essai n°3 a été transformé récemment pour pouvoir tester des moteurs à hydrogène.

Notons également qu'un local de stockage et un local technique sont aménagés sur le niveau supérieur respectivement de l'atelier situé sur la façade Nord et des trois bancs d'essai moteurs.

Les autres locaux seront réaménagés.

## 2.2.2. Nouvelles installations dans le cadre du projet

Le plan de rez-de-chaussée des installations en version projetée est reproduit ci-après.

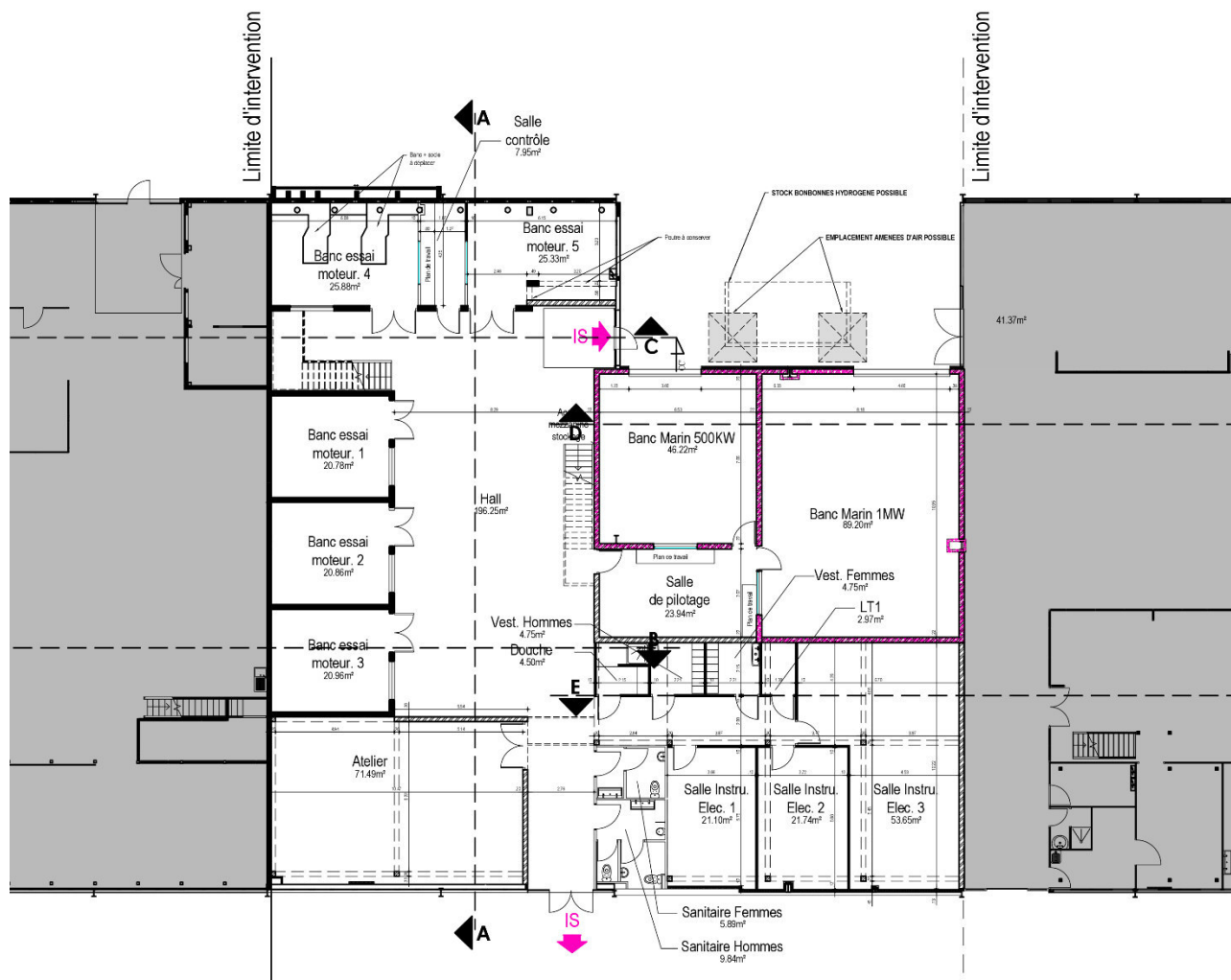


Figure 4 : Plan de rez-de-chaussée des locaux en situation projetée

L'atelier situé au Nord sera converti en deux locaux dédiés aux essais moteurs (bancs essai moteur 4 et 5) séparés par une salle de commande qui permettra de piloter les essais des deux bancs dans un local distinct.

La principale évolution concerne la création de deux locaux où viendront s'implanter les bancs marins 500 kW et 1 MW et leur salle de contrôle associée. Ces installations seront aménagées sur une partie du bâtiment I. Des accès depuis l'extérieur en façade Nord sont prévus pour les deux locaux d'essai. Sur la partie Sud seront aménagées des salles dédiées à l'instrumentation électronique ainsi que des vestiaires homme et femme.

De plus, des zones de stockage et des locaux techniques supplémentaires seront aménagés en R+1 au-dessus de l'atelier, des salles d'instrumentation, de la salle de pilotage des bancs marins et des sanitaires et vestiaires.

A noter que les données du lot « fluides », dont doit être issue la conception de l'acheminement de l'hydrogène depuis son stockage à l'extérieur du bâtiment vers les lieux d'utilisation (locaux essais) n'a pas été fourni à ce stade du projet.

### 2.2.3. Utilités

Les bancs d'essai nécessitent un approvisionnement en combustible pour leur fonctionnement. Ainsi, un parc à gaz a été aménagé récemment sur la façade Nord à l'extérieur du bâtiment, contre la paroi des futurs locaux banc essai 4 et 5.

Les gaz stockés sur le parc à gaz sont listés ci-dessous.

Tableau 2 : Gaz stockés au parc à gaz

Nature du gaz	Inflammabilité
Propane	Oui
Méthane	Oui
Azote	Non
Arcal (mélange azote/argon)	Non
Hélium	Non
Oxygène	Non
Hydrogène	Oui
Hélid-S H <sub>2</sub> 40 (mélange H <sub>2</sub> 40% et He)	Oui

Le stockage d'hydrogène concerne notamment 6 cadres maximum contenant chacun 18 bouteilles. Un poste de détente situé à l'extérieur permet la détente de 200 barg à 60 barg.

Les gaz sont acheminés dans les locaux par un système de tuyauteries sans raccord sur tout le tronçon traversant le hall.

Des cuves de gazole (1 cuve aérienne de 2 m<sup>3</sup>) et essence (2 cuves enterrées de 1,5 m<sup>3</sup> chacune) sont implantées à quelques mètres au Nord du bâtiment I. Les carburants liquides sont acheminés jusqu'aux nourrices, situées au niveau R+1 au-dessus du local essais au Nord du bâtiment, à l'aide d'un système de tuyauterie et de pompes. Ils sont ensuite distribués vers les équipements consommateurs gravitairement.

Le local technique au niveau supérieur des bancs d'essai 1, 2 et 3 intègre des centrales de traitement d'air (CTA). A noter qu'une bouteille d'Helid-S H<sub>2</sub> (40% d'hydrogène) qui sert à alimenter l'instrumentation (détection par ionisation de flamme) est présente et en service au niveau du local technique où sont implantées les centrales de traitement de l'air (CTA).

Les locaux sont chauffés à l'aide d'aérothermes à eau chaude pour l'ensemble du rez-de-chaussée et par des convecteurs électriques en complément dans certaines pièces.

Aucun engin de manutention n'est utilisé sur la plateforme.

## 2.3. Modalités de fonctionnement du site

L'exploitation de la plateforme d'essais de l'équipe D2SE est assurée en continu toute l'année sur un rythme de journée (8h-18h) 5 jours par semaine. L'installation est arrêtée 2 fois par an pendant 3 semaines pour les congés d'été et 1 semaine pour les congés de Noël.

## 2.4. Retour d'expérience sur la prise en compte du risque d'explosion sur le site d'étude

Les installations exploitées par l'équipe D2SE ont déjà fait l'objet d'un classement en zones ATEX pour partie. Précisément, il s'agit du projet « HYMOT » qui a consisté à la conversion d'un banc d'essai moteur (banc n°3) à l'utilisation d'hydrogène gazeux comme carburant. Ainsi un stockage d'hydrogène a été mis en place de même qu'un réseau de tuyauterie afin d'alimenter le banc d'essai. Ce projet s'est accompagné par la mise en place de dispositifs de sécurité spécifiques à la prévention des risques contre les explosions d'hydrogène.

Le rapport d'étude réalisé par Bureau Veritas à cette occasion en 2023 et comprenant la définition des zones ATEX liées au projet est annexé au présent rapport.

*Annexe 1: Etude de faisabilité du projet HYMOT – Assistance au classement des zones ATEX / Revue réglementaire ICPE*

Etant donné la récence de ce rapport d'étude, le zonage ATEX qui en résulte sera considéré dans le présent rapport.

## 3. CLASSEMENT DES EMPLACEMENTS DANGEREUX

### 3.1. Méthodologie générale de classement

La méthodologie générale pour la détermination des zones à formation possible d'ATEX peut se résumer par le schéma suivant.

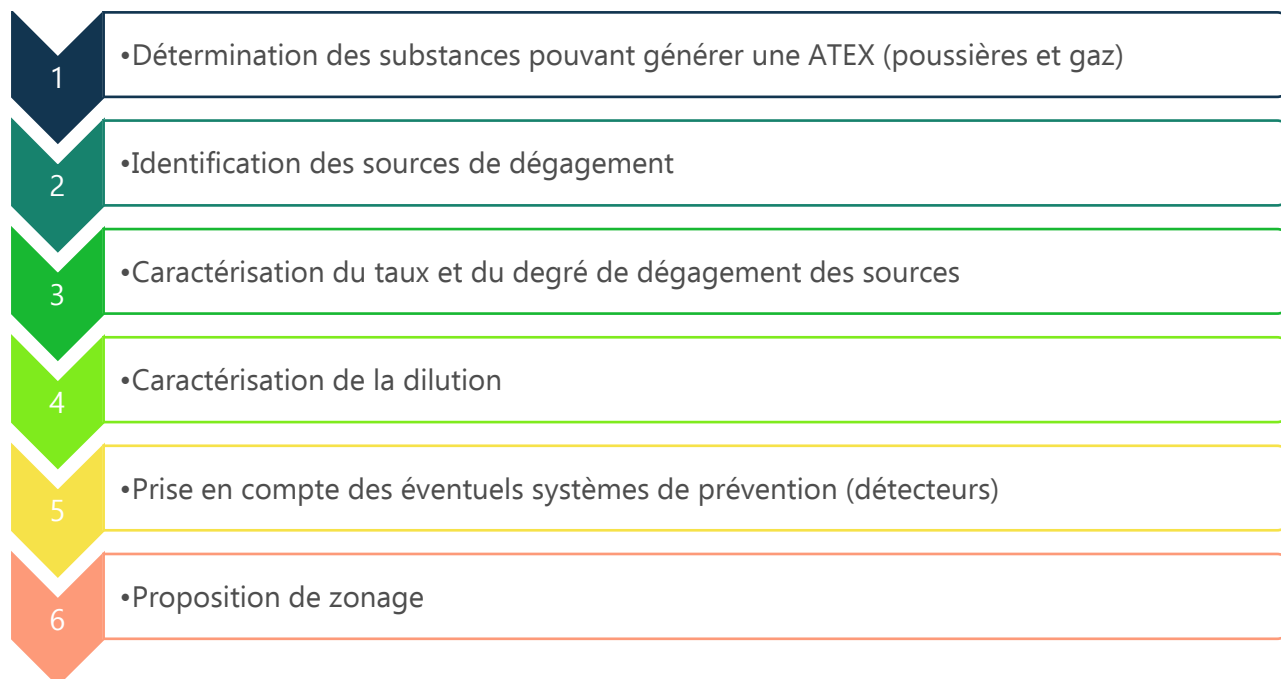


Figure 5 : Etapes pour la détermination des zones ATEX




### 3.2. Détermination des substances pouvant générer une ATEX

#### 3.2.1. Gaz et vapeurs

Seuls les produits classés inflammables catégorie 1 à 3 (cf. Tableau 3) selon le règlement 1272/2008 « CLP » ont été retenus ainsi que certains produits utilisés dans des conditions particulières (température/pression) susceptibles de provoquer leur passage en phase vapeur.



Tableau 3 : Classes de dangers des substances et mélanges inflammables

Classification	Etiquetage	Critères de classification
<b>Liquide inflammable Catégorie 1</b> H224 : liquide et vapeurs extrêmement inflammables	 Danger H224	Point d'éclair < 23°C Température d'ébullition ≤ 35°C
<b>Liquide inflammable Catégorie 2</b> H225 : liquide et vapeurs très inflammables	 Danger H225	Point d'éclair < 23°C Température d'ébullition > 35°C
<b>Liquide inflammable Catégorie 3</b> H226 : liquide et vapeurs inflammables	 Attention H226	23°C ≤ Point d'éclair ≤ 60°C

La liste des substances et mélanges présents sur le site d'étude et susceptibles de former une atmosphère explosive (cf. Tableau 4) a été définie à partir des FDS (Fiche de Données Sécurité) des produits. A noter que les produits inflammables stockés dans une armoire dédiée pour les besoins des opérations de préparation et maintenance des moteurs n'ont pas été repris dans ce tableau étant donné leur diversité.

Tableau 4 : Liste des substances ou mélanges susceptibles de former une atmosphère explosive sur le site d'étude

Nom substance ou mélange	Point éclair (°C)	TAI <sup>1</sup> (°C)	Densité par rapport à l'air	LIE - LSE <sup>2</sup>	Groupe de gaz	Classe de température	Origine / Lieux de stockage ou d'utilisation
Hydrogène	NA	560	0,07	4-77%	IIC	T1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Parc à gaz pour le stockage</li> <li>Locaux banc d'essai n°3 et bancs d'essai marins 500 kW et 1 MW</li> </ul>
HELID-S (mélange H <sub>2</sub> 40% et He) <sup>3</sup>	NA	560	0,07	4-77%	IIC	T1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Parc à gaz</li> <li>Local technique des centrales de traitement d'air existantes</li> </ul>
Propane	NA	459	1,55	1,7-10,8%	IIA	T1	Parc à gaz (non ligné)
Méthane	NA	595	0,56	5-15%	I	T1	Par à gaz

<sup>1</sup> Température d'Auto-Inflammation

<sup>2</sup> Limites Inférieure et Supérieure d'Inflammabilité

<sup>3</sup> A défaut d'information précise sur la FDS du fournisseur, il est considéré que ce mélange se comporte de façon identique à de l'hydrogène gazeux pur.

Nom substance ou mélange	Point éclair (°C)	TAI <sup>1</sup> (°C)	Densité par rapport à l'air	LIE - LSE <sup>2</sup>	Groupe de gaz	Classe de température	Origine / Lieux de stockage ou d'utilisation
Gazole	55	250	5	0,5-5%	NA	T3	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Cuve de stockage à l'extérieur</li> <li>› Distribution via nourrice et réseau de tuyauterie vers les bancs d'essai</li> </ul>
Essence SP 95	-40	300	3	1,4-8,7%	NA	T3	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Cuve de stockage à l'extérieur</li> <li>› Distribution via nourrice et réseau de tuyauterie vers les bancs d'essai</li> </ul>

ND : Non Disponible

NA : Non Applicable

De manière générale, les marges de sécurité à considérer concernant les valeurs de point éclair sont de 5°C pour les substances et de 20°C pour les mélanges (sauf les produits pétroliers).

Ainsi le gazole, avec un point éclair de 55°C, ne sera pas retenu comme susceptible de former une atmosphère explosible étant donné que cette température n'est pas susceptible d'être atteinte.

Il convient de noter que l'ensemble des produits chimiques utilisés dans les différents ateliers n'est pas répertorié dans le tableau précédent. En effet ces produits sont systématiquement stockés en armoire dédiée. La formation d'ATEX à l'intérieur de ces armoires sera donc bien prise en compte le cas échéant.

### 3.2.2. Poussières

Aucune poussière combustible n'est susceptible de former d'atmosphère explosible au sein des locaux de l'équipe D2SE.

## 3.3. Identification des sources de dégagement

Les sources de dégagement sont variables selon les produits utilisés et le procédé mis en œuvre. Le terme « source de dégagement » est défini [02] comme étant :

*« un point ou une localisation à partir duquel un gaz inflammable, une vapeur, un brouillard ou un liquide peut être dégagé dans l'atmosphère, de sorte qu'une atmosphère explosive gazeuse peut-être formée. »*

Cette définition est complétée par la définition du [04] pour les sources de dégagement poussiéreuses :

*« point ou localisation à partir duquel la poussière peut être dégagée dans l'atmosphère.  
Note 1 à l'article : La source de dégagement de poussière peut être à partir d'un confinement ou d'une couche de poussière. »*

### 3.3.1. Stockage de carburants liquides

Le stockage de carburant liquide (gazole et essence SP95) se fait dans des cuves soit enterrées (pour l'essence), soit aérienne (pour le gazole) au niveau d'une aire dédiée et clôturée. Des événements de respiration équipent les cuves afin de permettre d'évacuer les vapeurs lors des opérations de remplissage notamment. Cette aire est illustrée ci-dessous.



Figure 6 : Cuve de gazole et évent de respiration



Figure 7 : Cuves d'essence SP-95 enterrées et événements de respiration

Les sources de dégagement comprennent la cuve double compartimentée d'essence SP-95 et les événements de respiration associés.

### 3.3.2. Nourrices de carburants liquides

Le circuit de distribution des carburants liquides comprend notamment deux nourrices positionnées au niveau R+1 de l'atelier des bancs moteurs 4 et 5 au Nord du bâtiment. Ces nourrices d'une capacité d'une quinzaine de litres sont alimentées par une pompe de refoulement depuis les cuves. En aval des nourrices, la distribution se fait gravitairement à la demande par un système de tuyauteries. Les nourrices sont illustrées ci-après.





Figure 8 : Nourrices de carburants liquides en R+1 du local des bancs d'essai 4 et 5



Figure 9 : Nourrice essence sans plomb



Figure 10 : Sortie d'évent sur la façade Nord du bâtiment

Un flexible servant d'évent pour la nourrice d'essence sort à l'extérieur sur la façade du bâtiment au Nord.



Les sources de dégagement retenues pour le système d'alimentation des carburants liquides sont l'intérieur de la nourrice d'essence sans plomb, l'évent de respiration et les raccords entre la nourrice et les tuyauteries de distribution de l'essence.

### 3.3.3. Parc à gaz

Le parc à gaz est implanté à l'extérieur du bâtiment contre la façade Nord. Il comprend plusieurs racks de bouteilles d'hydrogène ainsi que des bouteilles d'hydrogène directement lignées (pour l'instrumentation). Ces installations sont illustrées ci-après.



Figure 11 : Stockage des racks de bouteilles d'hydrogène au parc à gaz



Figure 12 : Système de détente et distribution d'hydrogène depuis le stockage vers les installations utilisatrices



Figure 13 : Bouteilles de gaz non lignées au parc à gaz



Figure 14 : Bouteilles de gaz dont des gaz inflammables dont certaines sont raccordées au réseau de distribution après détente

La pression dans les bouteilles d'hydrogène est de 200 barg, il est détendu à 80 barg au niveau de la panoplie de détente située au niveau du parc à gaz.

Le circuit d'hydrogène est relié à deux événements de purge permettant de sécuriser l'installation lors de rotations de racks et en cas de mise en sécurité d'urgence (voir illustration ci-après).



Figure 15 : Events de purge du circuit hydrogène



Figure 16 : Base des événements de purge du circuit hydrogène

Les sources de dégagement retenues sont les événements de purge, la soupape de sécurité au niveau de la panoplie de détente, ainsi que l'ensemble des raccords présents entre le lignage des bouteilles et l'entrée des tuyauteries dans le bâtiment, notamment au niveau de la panoplie de détente, du robinet des bouteilles d'hydrogène, des électrovannes et de la vanne manuelle encoffrée.

### 3.3.4. Bouteille d'HELID-S dans le local des CTA

Une bouteille de ce gaz (pour rappel pouvant être assimilé à de l'hydrogène pur) est présente au sein du local où sont implantées les centrales de traitement d'air des bancs d'essai n°1 à 3 (au niveau R+1) comme illustré ci-après.





Figure 17 : Bouteille d'HELID-S (mélange contenant 40% d'hydrogène) dans le local des CTA

Cette bouteille est lignée à un détendeur puis un flexible dont la destination est inconnue. La pression à l'intérieur de la bouteille est de 150 barg et le gaz est détendu à 2 barg.

Les sources de dégagement retenues sont le raccord entre le robinet de la bouteille et le détendeur ainsi que les raccords sur le flexible de distribution.

### 3.3.5. Circuit de distribution de carburants entre les stockages et les cellules bancs d'essai

La tuyauterie d'hydrogène part du parc à gaz et alimente la cellule banc d'essai n°3 en transitant dans le hall. Aucun raccord non soudé n'est présent sur ce parcours. Ainsi aucune source de dégagement n'est retenue pour le réseau d'hydrogène.

En revanche le réseau de carburant liquide depuis les nourrices vers les cellules comprend plusieurs raccords non soudés (électrovannes et vannes manuelles, baromètre, etc.) positionnés sur la tuyauterie DN20.



Figure 18 : Electro-vanne, vanne manuelle et baromètre sur la tuyauterie d'essence

Ces raccords non soudés seront retenus comme source de dégagement pour le réseau de distribution de l'essence sans-plomb.

Aucun dispositif de purge ou prise d'échantillon n'a été observé.

### 3.3.6. Cellule banc d'essai n°1

Cette cellule comprend un banc d'essai pour moteurs à combustion alimentés en gazole ou essence depuis les nourrices situées en R+1. La distribution de carburant au moteur se fait à l'aide d'un système de régulation piloté numériquement. Le système de régulation de référence AVL FUEL BALANCE comprend un petit réservoir dans lequel le carburant est admis et la masse est mesurée avec précision afin de connaître avec précision le débit envoyé vers le moteur sur banc d'essai.

Les tuyauteries de carburant liquide sont équipées de vannes (raccords non soudés) qui peuvent être retenus comme source de dégagement. Les réservoirs du système de régulation ainsi que les raccords non soudés sur celui-ci peuvent être retenus comme source de dégagement.

### 3.3.7. Cellule banc d'essai n°2

La configuration est similaire à la cellule banc d'essai n°1, les sources de dégagement retenues seront identiques.



### 3.3.8. Cellule banc d'essai n°3

La cellule banc d'essai n°3 a été récemment converti pour permettre la réalisation d'essais sur des moteurs alimentés en hydrogène en remplacement de l'utilisation de carburants plus classiques (essence, gazole).

L'hydrogène fourni provient du parc à gaz précédemment décrit. Une tuyauterie sans raccord non soudé permet d'alimenter l'hydrogène depuis le parc à gaz jusqu'à une centrale de détente/régulation située dans la cellule d'essai. Pour rappel, l'hydrogène est détendu de 200 barg à 80 barg au niveau de la panoplie de détente du parc à gaz puis de 80 barg à 40 barg au niveau de la centrale de détente/régulation de la cellule d'essai. Les raccords sur la tuyauterie à l'intérieur de la cellule d'essai sont des raccords vissés de type « swagelock » et l'inventaire cumulé d'hydrogène au sein des équipements de la cellule est de 15 L dont 13 L dans le réservoir du débitmètre d'hydrogène.

La mise en œuvre de la conversion à l'hydrogène de la cellule du banc d'essai n°3 a fait l'objet d'une assistance technique de la part d'un bureau d'étude afin de s'assurer de l'adéquation des dispositifs de sécurité prévu par le maître d'œuvre. Cette assistance a conduit notamment à la réalisation d'un zonage ATEX en lien avec le projet (voir rapport complet en annexe). Le zonage proposé dans le rapport sera repris à l'identique. Pour rappel, les sources de dégagement retenues dans ce rapport sont listées ci-dessous :

- Vanne sur circuit hydrogène avant détente (P=80 barg).
- Raccord tuyauterie-débitmètre (entrée débitmètre).
- Raccord débitmètre-tuyauterie (sortie débitmètre).
- Connexion du flexible au moteur.
- Echappement moteur en cas de mauvaise combustion (incomplète).

### 3.3.9. Stockage de produits chimiques en petits contenants en armoire dédiée

Pour les besoins de la préparation des essais et de la maintenance des installations/équipements, des produits chimiques, dont certains sont inflammables, sont stockés en armoire dédiée. L'épanchement de ces produits dans l'armoire peut provoquer la formation d'une atmosphère explosible à l'intérieur du volume de l'armoire.

### 3.3.10. Projet cellule banc marin 1 MW

La cellule d'essai banc marin 1 MW est de conception similaire à la cellule d'essai n°3 qui a subi une transformation d'usage dans le cadre du projet HYMOT. Ce projet nécessitera une alimentation de l'hydrogène depuis le stockage extérieur à l'aide d'une tuyauterie qui ne disposera d'aucun raccord non soudé entre le stockage et l'arrivée dans la cellule. Ainsi, le dégagement d'hydrogène le long de cette tuyauterie depuis le stockage jusqu'à la cellule d'essai peut être exclu.

La première détente depuis le stockage d'hydrogène portera la pression à 60 barg dans le réseau de distribution. Une deuxième détente se fera au niveau du kit de distribution implanté au sein de la cellule d'essai et qui permettra une alimentation de l'équipement consommateur jusqu'à 30 barg (selon besoin de l'essai). L'hydrogène est distribué depuis le module principal où s'effectue la détente jusqu'à un

module placé au plus près de l'équipement à tester. La tuyauterie de transfert entre les deux modules ne disposera d'aucun raccord non soudé.

La distribution d'hydrogène sera pourvue d'un dispositif de mise à l'évent positionné en toiture permettant la dépressurisation du réseau. L'ensemble de la tuyauterie d'hydrogène sera à double enveloppe avec inertage à l'azote dans l'espace annulaire entre les deux enveloppes.

Ainsi, la prévention du risque de formation d'ATEX dans la cellule d'essai du banc marin 1 MW sera basée sur l'architecture suivante :

- › Mise en œuvre d'un système de ventilation mécanique à deux fonctions :
  - En fonctionnement normal : extraction de l'air de la cellule vers l'extérieur du bâtiment à l'aide d'extracteurs non conçus pour une atmosphère inflammable.
  - En fonctionnement de sécurité, sur atteinte d'un seuil de la détection hydrogène équipant la cellule : arrêt des extracteurs de fonctionnement normal et mise en route d'un extracteur conçu pour une atmosphère inflammable. La ventilation de sécurité sera conforme à la norme NF EN 14986 (v.2024).
- › Implantation des dispositifs d'extraction d'air (fonctionnement normal et de sécurité confondus) :
  - Un dispositif d'extraction placé au plus près au-dessus du module de détente/distribution d'hydrogène à l'intérieur de la cellule d'essai qui permettra de canaliser une éventuelle fuite d'hydrogène.
  - Un dispositif d'extraction placé au plus près au-dessus du banc d'essai moteur à l'intérieur de la cellule d'essai qui permettra de canaliser une éventuelle fuite d'hydrogène.
  - Un dispositif d'extraction générale placé en point haut de la cellule et qui permettra d'assurer un balayage d'air continu de la cellule.
- › Mise en œuvre d'une détection d'hydrogène dont la centrale sera installée dans le local de pilotage des cellules d'essai. Les détecteurs d'hydrogène seront quant à eux installés :
  - Dans le conduit d'échappement du moteur afin de détecter une éventuelle mauvaise combustion pouvant engendrer une dispersion d'hydrogène.
  - Dans les hottes d'extraction au-dessus du module de distribution et de détente et au-dessus du banc d'essai moteur.
  - Dans l'extracteur de la ventilation dédiée au fonctionnement normal.
- › Asservissements liés à la détection hydrogène :
  - A partir d'un seuil de 25% de la LIE :
    - déclenchement de systèmes d'alarme sonore/visuelle.
    - démarrage de la ventilation de sécurité et arrêt de la ventilation de fonctionnement normal.
  - A partir d'un seuil de 50% de la LIE :
    - Arrêt de l'alimentation en hydrogène de la cellule d'essai.
    - Coupure des énergies de la cellule d'essai à l'exception de la ventilation de sécurité.
- › Asservissements : en plus des asservissements liés à la détection hydrogène, le dysfonctionnement de la ventilation normale et de la ventilation de sécurité doit entraîner :
  - la coupure d'alimentation de l'hydrogène depuis sa source (stockage).
  - la dépressurisation du réseau de distribution d'hydrogène.
  - la coupure des énergies de la cellule d'essai (à l'exception de l'extracteur de sécurité et du système de détection d'hydrogène).
- › Mise à la terre des équipements métalliques et réalisation des liaisons équipotentielles.

Lors des périodes nécessitant l'arrêt complet de la ventilation, le réseau de distribution d'hydrogène doit être dépressurisé et inerté à l'azote.

Dans ces conditions, les dégagements susceptibles de former des ATEX seront limités à des zones restreintes au niveau des points de fuite possible sur le réseau de distribution (panoplie détente, raccords au moteur testé, etc.) et il sera possible de ne pas considérer la formation d'ATEX dans le volume entier de la cellule d'essai. A noter que les sources de dégagement prévisibles doivent être positionnées au plus près des points d'extraction de la ventilation (hottes), dans le cas contraire, il n'est pas exclu qu'une ATEX puisse se former ailleurs qu'au niveau des points de fuite. La conception des équipements du circuit d'hydrogène (tuyauterie, événements, stockage, ventilation, détection, etc.) doit être réalisée conformément à la norme NF-M58-003 (v.12/2013) et aux normes spécifiquement citées dans la norme NF-M58-003.

### 3.3.11. Projet cellule banc marin 500 kW

La cellule d'essai banc marin 500 kW est de conception identique à la cellule d'essai banc marin 1 MW. Les considérations et conclusions vis-à-vis du risque ATEX sont donc identiques.

### 3.3.12. Synthèse des sources de dégagement

Les sources de dégagement identifiées aux paragraphes précédents sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5 : Synthèse des sources de dégagement identifiées

Source de dégagement	Localisation
Cuve de stockage double compartimentée d'essence SP-95	Aire de stockage carburants extérieure
2 événements de respiration associés à la cuve de stockage d'essence SP-95	Aire de stockage carburants extérieure
Nourrice d'essence SP-95	Local de stockage à l'étage
Raccords entre nourrice SP-95 et tuyauterie/flexibles	Local de stockage à l'étage
Event de respiration associé à la nourrice d'essence SP-95	Façade Nord du bâtiment
Raccords entre robinet bouteilles d'hydrogène et circuit de distribution	Parc à gaz
Vannes et autres organes sur le circuit d'hydrogène extérieur installés à l'aide de raccords non soudés	Parc à gaz
Soupape de sécurité sur la panoplie de détente	Parc à gaz
Events de purge H2	Toiture du bâtiment façade Nord
Raccord robinet-détendeur de la bouteille d'HELID-S	Local CTA à l'étage
Raccord détendeur-flexible de distribution de la bouteille d'HELID-S	Local CTA à l'étage

Source de dégagement	Localisation
Raccords non soudés sur la distribution principale d'essence SP-95 (électrovanne, vanne manuelle, baromètre)	Hall principal du bâtiment
Raccord non soudé entre la tuyauterie de distribution et la vanne manuelle	Cellule banc d'essai n°1
Réservoir du système de régulation de la distribution d'essence SP-95 au banc d'essai	Cellule banc d'essai n°1
Raccords entre flexibles d'arrivée et départ et le réservoir du système de régulation de la distribution d'essence SP-95 au banc d'essai	Cellule banc d'essai n°1
Raccord non soudé entre la tuyauterie de distribution et la vanne manuelle	Cellule banc d'essai n°2
Réservoir du système de régulation de la distribution d'essence SP-95 au banc d'essai	Cellule banc d'essai n°2
Raccords entre flexibles d'arrivée et départ et le réservoir du système de régulation de la distribution d'essence SP-95 au banc d'essai	Cellule banc d'essai n°2
Raccords non soudés entre la vanne et la tuyauterie du circuit hydrogène avant détente (P=80 barg)	Cellule banc d'essai n°3
Raccord tuyauterie-débitmètre (entrée débitmètre)	Cellule banc d'essai n°3
Raccord débitmètre-tuyauterie (sortie débitmètre)	Cellule banc d'essai n°3
Connexion du flexible au moteur	Cellule banc d'essai n°3
Echappement moteur en cas de mauvaise combustion (incomplète)	Cellule banc d'essai n°3
Produits inflammables en petit contenant	Armoire de stockage des produits chimiques
Raccords non soudés sur le circuit de distribution d'hydrogène de la cellule d'essai banc marin 1 MW	Cellule d'essai banc marin 1 MW
Echappement moteur en cas de mauvaise combustion (incomplète)	Cellule d'essai banc marin 1 MW
Raccords non soudés sur le circuit de distribution d'hydrogène de la cellule d'essai banc marin 500 kW	Cellule d'essai banc marin 500 kW
Echappement moteur en cas de mauvaise combustion (incomplète)	Cellule d'essai banc marin 500 kW

### 3.4. Caractérisation du taux et du degré de dégagement des sources

Les sources de dégagement étant identifiées, la prochaine étape consiste donc à définir le degré de dégagement de ces sources qui peuvent être classées en 3 catégories [02] :

- › Degré continu : dégagement qui est continu ou supposé apparaître fréquemment ou sur de longues périodes.
- › Premier degré : dégagement périodique ou occasionnel, prévisible en fonctionnement normal.
- › Deuxième degré : dégagement non-prévisible en fonctionnement normal et qui, s'il se produit néanmoins, le fera avec une probabilité faible et sur de courtes durées.

Le tableau ci-dessous précise, pour chaque dégagement identifié au paragraphe précédent, le degré associé.

Tableau 6 : Caractérisation du degré de dégagement des sources identifiées

Source de dégagement	Degré de dégagement	Justification
Cuve de stockage double compartimentée d'essence SP-95	Degré continu	Présence en permanence de vapeurs d'essence dans le ciel de cuve
2 événements de respiration associés à la cuve de stockage d'essence SP-95	Premier degré	Présence d'une atmosphère explosive occasionnelle lors du remplissage de la cuve du fait de la chasse naturelle des vapeurs hors de la cuve
Nourrice d'essence SP-95	Degré continu	Présence en permanence de vapeurs d'essence dans le ciel de la nourrice
Raccords entre nourrice SP-95 et tuyauterie/flexibles	Deuxième degré	Perte d'étanchéité sur les raccords non attendue en fonctionnement normal
Event de respiration associé à la nourrice d'essence SP-95	Premier degré	Présence d'une atmosphère explosive de façon occasionnelle lors du remplissage de la nourrice par actionnement de la pompe
Raccords entre robinet bouteilles d'hydrogène et circuit de distribution	Deuxième degré	Perte d'étanchéité sur les raccords non attendue en fonctionnement normal
Vannes et autres organes sur le circuit d'hydrogène extérieur installés à l'aide de raccords non soudés	Deuxième degré	Perte d'étanchéité sur les raccords non attendue en fonctionnement normal
Soupape de sécurité sur la panoplie de détente	Deuxième degré	Présence d'une atmosphère explosive en cas de situation d'urgence après ouverture de la soupape et sur une faible durée
Events de purge H2	Premier degré	Les purges de circuit se font de manière occasionnelle pour le remplacement des racks de bouteilles d'hydrogène ou pour la mise en sécurité du circuit de distribution
Raccord robinet-détendeur de la bouteille d'HELID-S	Deuxième degré	Perte d'étanchéité sur le raccord non attendue en fonctionnement normal
Raccord détendeur-flexible de distribution de la bouteille d'HELID-S	Deuxième degré	Perte d'étanchéité sur le raccord non attendue en fonctionnement normal
Raccords non soudés sur la distribution principale d'essence SP-95 (électrovanne, vanne manuelle, baromètre)	Deuxième degré	Perte d'étanchéité sur les raccords non attendue en fonctionnement normal
Raccord non soudé entre la tuyauterie de distribution et la vanne manuelle	Deuxième degré	Perte d'étanchéité sur le raccord non attendue en fonctionnement normal

Source de dégagement	Degré de dégagement	Justification
Réservoir du système de régulation de la distribution d'essence SP-95 au banc d'essai	Degré continu	Présence en permanence de vapeurs d'essence dans le ciel du réservoir
Raccords entre flexibles d'arrivée et départ et le réservoir du système de régulation de la distribution d'essence SP-95 au banc d'essai	Deuxième degré	Perte d'étanchéité sur les raccords non attendue en fonctionnement normal
Raccord non soudé entre la tuyauterie de distribution et la vanne manuelle	Deuxième degré	Perte d'étanchéité sur le raccord non attendue en fonctionnement normal
Réservoir du système de régulation de la distribution d'essence SP-95 au banc d'essai	Degré continu	Présence en permanence de vapeurs d'essence dans le ciel du réservoir
Raccords entre flexibles d'arrivée et départ et le réservoir du système de régulation de la distribution d'essence SP-95 au banc d'essai	Deuxième degré	Perte d'étanchéité sur les raccords non attendue en fonctionnement normal
Raccords non soudés entre la vanne et la tuyauterie du circuit hydrogène avant détente (P=80 barg)	Deuxième degré	Perte d'étanchéité sur le raccord non attendue en fonctionnement normal
Raccord tuyauterie-débitmètre (entrée débitmètre)	Deuxième degré	Perte d'étanchéité sur le raccord non attendue en fonctionnement normal
Raccord débitmètre-tuyauterie (sortie débitmètre)	Deuxième degré	Perte d'étanchéité sur le raccord non attendue en fonctionnement normal
Connexion du flexible au moteur	Deuxième degré	Perte d'étanchéité sur le raccord non attendue en fonctionnement normal
Echappement moteur en cas de mauvaise combustion (incomplète)	Deuxième degré	Dysfonctionnement de la combustion du moteur, ne peut se produire qu'à très faible fréquence (dysfonctionnement prévisible)
Produits inflammables en petit contenant	Degré continu	Présence en permanence de vapeurs de liquide inflammable dans le ciel des contenants
Produits inflammables en petit contenant	Deuxième degré	Présence de manière exceptionnelle de vapeurs de liquide inflammable dans l'enceinte de l'armoire en cas de déversement
Raccords non soudés sur le circuit de distribution d'hydrogène de la cellule d'essai banc marin 1 MW	Deuxième degré	Perte d'étanchéité sur les raccords non attendue en fonctionnement normal
Echappement moteur en cas de mauvaise combustion (incomplète)	Deuxième degré	Dysfonctionnement de la combustion du moteur, ne peut se produire qu'à très faible fréquence (dysfonctionnement prévisible)
Raccords non soudés sur le circuit de distribution d'hydrogène de la cellule d'essai banc marin 500 kW	Deuxième degré	Perte d'étanchéité sur les raccords non attendue en fonctionnement normal
Echappement moteur en cas de mauvaise combustion (incomplète)	Deuxième degré	Dysfonctionnement de la combustion du moteur, ne peut se produire qu'à très faible fréquence (dysfonctionnement prévisible)

### 3.5. Caractérisation de la ventilation

La caractérisation de la ventilation est l'étape suivante pour la réalisation du zonage ATEX du site d'étude.

Cette étape ne concerne pas les sources de dégagement poussiéreuses conformément à la norme NF EN 60079-10-2. [04]

Deux facteurs sont à prendre en compte concernant la ventilation des locaux :

- Le degré de dilution qui peut être élevé, moyen ou faible. Plus une ventilation permettra de diluer le nuage de vapeur ou gaz inflammable, plus son degré de dilution sera important. Le paragraphe 3.5.2 du [02] donne une définition de la dilution :

*« mélange de vapeur ou de gaz inflammable avec l'air qui, dans le temps, réduit la concentration inflammable. »*

- La disponibilité qui peut être bonne, assez bonne ou médiocre. Elle dépend de la fiabilité de la source de ventilation. Par exemple, une ventilation naturelle en extérieur aura une bonne disponibilité étant donné qu'elle n'est pas sujette à des pannes mécaniques comme peut l'être une ventilation mécanique. En revanche, une ventilation naturelle en intérieur ne doit pas être considérée comme bonne car elle dépend fortement des conditions extérieurs (température et vent).

Le tableau suivant précise le degré de dilution et la disponibilité de la ventilation pour toutes les sources de dégagement.

Tableau 7 : Caractérisation de la ventilation pour les sources de dégagement non poussiéreuses

Source de dégagement	Degré de dilution	Disponibilité	Justification
Cuve de stockage double compartimentée d'essence SP-95	-	-	Absence de ventilation
2 événements de respiration associés à la cuve de stockage d'essence SP-95	Elevé	Bonne	Ventilation naturelle sans obstacle à une hauteur d'environ 3 m, la vitesse du vent étant alors estimée à 1 m/s selon le tableau C.1 de [02], pour un dégagement considéré à 0,005 m <sup>3</sup> /s (remplissage des cuves de 3 m <sup>3</sup> en 10 mn), la dilution est considérée comme élevée selon la figure C.1 de [02].
Nourrice d'essence SP-95	-	-	Absence de ventilation
Raccords entre nourrice SP-95 et tuyauterie/flexibles	Moyen	Assez bonne	Ventilation naturelle dans un local fermé sans justification du débit d'air traité
Event de respiration associé à la nourrice d'essence SP-95	Elevé	Bonne	Ventilation naturelle considérant la façade du bâtiment comme obstacle et une hauteur de rejet supérieure à 5 m soit une vitesse de ventilation considérée à 1 m/s (cf tableau C.1 du [02]). Pour un dégagement de 1 L/s, la dilution peut être considérée comme élevée selon la figure C.1 de [02].

Source de dégagement	Degré de dilution	Disponibilité	Justification
Raccords entre robinet bouteilles d'hydrogène et circuit de distribution	Moyen <sup>4</sup>	Bonne <sup>4</sup>	Ventilation naturelle d'une vitesse de 0,5 m/s et dégagement de 74,6 L/s pour une fuite sur une section de 0,025 mm <sup>2</sup>
Vannes et autres organes sur le circuit d'hydrogène extérieur installés à l'aide de raccords non soudés	Elevé <sup>4</sup>	Bonne <sup>4</sup>	Ventilation naturelle d'une vitesse de 0,5 m/s et dégagement de 30,1 L/s pour une fuite sur une section de 0,025 mm <sup>2</sup>
Soupape de sécurité sur la panoplie de détente	Moyen <sup>4</sup>	Bonne <sup>4</sup>	Ventilation naturelle (absence d'informations sur les caractéristiques de la soupape)
Events de purge H2	Moyen <sup>4</sup>	Bonne <sup>4</sup>	Ventilation naturelle dont la vitesse est estimée à 0,5 m/s selon le tableau C.1 de [02] étant donné un rejet non obstrué à moins de 2 m de la surface du toit
Raccord robinet-détendeur de la bouteille d'HELID-S	Faible	Assez bonne	Ventilation mécanique du local CTA par extraction à 10 000 m <sup>3</sup> /h asservi au fonctionnement des cabines des bancs d'essai. La concentration de fond atteinte pour un dégagement de 52,8 L/s est considérée à $9,51 \cdot 10^{-2}$ en prenant un facteur d'inefficacité de la ventilation de 5 (cas pénalisant) selon calcul présenté au C.3.6.2 du [02]. Cette concentration de fond est supérieur à la concentration de fond critique correspondant à 25% de la LIE (soit 1% d'H <sub>2</sub> dans l'air). Le degré de dilution de la ventilation peut ainsi être considéré comme faible selon le dernier paragraphe du C.3.6.2 du [02]. Absence de secours de la ventilation.
Raccord détendeur-flexible de distribution de la bouteille d'HELID-S	Elevé	Assez bonne	Même réflexion que pour la ligne précédente cependant la concentration de fond atteinte est de $1,27 \cdot 10^{-3}$ avec un facteur d'inefficacité de 5, ainsi il peut être considéré une dilution élevée du dégagement (facteur 10 avec la concentration critique qui correspond à 25% de la LIE). Absence de secours de la ventilation.
Raccords non soudés sur la distribution principale d'essence SP-95 (électrovanne, vanne manuelle, baromètre)	Moyen	Assez bonne	Ventilation naturelle du hall du bâtiment (absence d'élément sur le taux de renouvellement d'air)

<sup>4</sup> Selon étude en Annexe 1



Source de dégagement	Degré de dilution	Disponibilité	Justification
Raccord non soudé entre la tuyauterie de distribution et la vanne manuelle	Elevé	Assez bonne	Ventilation de la cabine par un dispositif général d'un débit de 14 000 m <sup>3</sup> /h en considérant un dégagement de 1 L/s (en réalité bien en dessous d'1 L/s) et un facteur d'inefficacité de la ventilation de 5, la concentration de fond atteinte est de 0,0013 soit une valeur inférieure à la concentration critique qui est de 0,0035 (25% de la LIE de l'essence).  Le degré de dilution de la ventilation peut ainsi être considéré comme élevé.  Absence de secours de la ventilation.
Réservoir du système de régulation de la distribution d'essence SP-95 au banc d'essai	-	-	Absence de ventilation
Raccords entre flexibles d'arrivée et départ et le réservoir du système de régulation de la distribution d'essence SP-95 au banc d'essai	Elevé	Assez bonne	Conditions comparables au dégagement considéré au niveau du raccord tuyauterie-vanne manuelle sur la tuyauterie.
Raccord non soudé entre la tuyauterie de distribution et la vanne manuelle	Elevé	Assez bonne	Ventilation de la cabine par un dispositif général d'un débit de 14 000 m <sup>3</sup> /h en considérant un dégagement de 1 L/s (en réalité bien en dessous d'1 L/s) et un facteur d'inefficacité de la ventilation de 5, la concentration de fond atteinte est de 0,0013 soit une valeur inférieure à la concentration critique qui est de 0,0035 (25% de la LIE de l'essence).  Le degré de dilution de la ventilation peut ainsi être considéré comme élevé.  Absence de secours de la ventilation.
Réservoir du système de régulation de la distribution d'essence SP-95 au banc d'essai	-	-	Absence de ventilation
Raccords entre flexibles d'arrivée et départ et le réservoir du système de régulation de la distribution d'essence SP-95 au banc d'essai	Elevé	Assez bonne	Conditions comparables au dégagement considéré au niveau du raccord tuyauterie-vanne manuelle sur la tuyauterie.

Source de dégagement	Degré de dilution	Disponibilité	Justification
Raccords non soudés entre la vanne et la tuyauterie du circuit hydrogène avant détente (P=80 barg)	Moyen <sup>4</sup>	Bonne <sup>4</sup>	Degré de dilution moyen considérant une pression de 80 barg dans la tuyauterie et une vitesse d'air au niveau du dégagement de 0,09 m/s (extraction mécanique) → concentration de fond de 0,00145 pour une concentration critique de 0,02, soit un facteur 10 approximativement. Bonne disponibilité de la ventilation considérant l'asservissement de la coupure d'arrivée d'hydrogène au dysfonctionnement partiel ou total de la ventilation (mesure différentielle de pression).
Raccord tuyauterie-débitmètre (entrée débitmètre)	Moyen <sup>4</sup>	Bonne <sup>4</sup>	Cf ligne précédente
Raccord débitmètre-tuyauterie (sortie débitmètre)	Moyen <sup>4</sup>	Bonne <sup>4</sup>	Cf ligne précédente (pression de 40 barg)
Connexion du flexible au moteur	Moyen <sup>4</sup>	Bonne <sup>4</sup>	Cf ligne précédente
Echappement moteur en cas de mauvaise combustion (incomplète)	Moyen <sup>4</sup>	Bonne <sup>4</sup>	Flux des gaz d'échappement de 900 kg/h. Débit d'extraction de 5000 m <sup>3</sup> /h soit une vitesse d'air de 7 m/s considérant une gaine d'extraction de DN 500. Détecteur H2 dans gaine d'extraction permettant la mise en sécurité de l'installation à partir de 10% de la LIE (0,4% d'hydrogène).
Produits inflammables en petit contenant	-	-	Absence de ventilation
Produits inflammables en petit contenant	-	-	Armoire non ventilée

Source de dégagement	Degré de dilution	Disponibilité	Justification
Raccords non soudés sur le circuit de distribution d'hydrogène de la cellule d'essai banc marin 1 MW	Moyen/Elevé	Bonne	<p>La disponibilité de la ventilation de la cellule d'essai est réputée bonne étant donné les paramètres de fonctionnement (système de gestion de la cascade de pression agissant sur le débit de la centrale d'amenée d'air). L'arrêt de la ventilation est conditionné à l'arrêt de l'alimentation en hydrogène et à la dépressurisation du réseau de distribution de la cellule.</p> <p>Le degré de dilution considéré moyen ou élevé a été défini en considérant une pression de 60 barg à l'entrée du module gestionnaire et 30 barg en sortie de ce même module pour une section de fuite de 0,025 mm<sup>2</sup> (selon tableau B.1 de la norme NF EN 60079-10-1 pour des raccords à faible alésage) conduisant à un dégagement entre 0,0146 (circuit 30 barg) et 0,0286 (circuit 60 barg) m<sup>3</sup>/s. La vitesse d'air au niveau des points de fuite identifiés est de 0,28 m/s (hotte au-dessus du banc moteur) et 0,32 m/s (hotte au-dessus du gestionnaire) conduisant dans le premier cas à une dilution élevée et dans le deuxième cas à une dilution moyenne (par lecture graphique de la figure C.1 de la norme NF EN 60079-10-1).</p>
Echappement moteur en cas de mauvaise combustion (incomplète)	Elevé	Bonne	<p>Disponibilité : cf ligne précédente</p> <p>Degré de dilution : considérant un débit d'extraction d'air du conduit de 3800 m<sup>3</sup>/h (soit 1,05 m<sup>3</sup>/s) et une vitesse de ventilation de 26 m/s, la dilution sera considérée comme élevée (par lecture graphique de la figure C.1 de la norme NF EN 60079-10-1).</p>
Raccords non soudés sur le circuit de distribution d'hydrogène de la cellule d'essai banc marin 500 kW	Moyen/Elevé	Bonne	<p>Disponibilité : cf ligne précédente</p> <p>Le degré de dilution considéré élevé a été défini en considérant une pression de 30 barg en sortie du module gestionnaire pour une section de fuite de 0,025 mm<sup>2</sup> (selon tableau B.1 de la norme NF EN 60079-10-1 pour des raccords à faible alésage) conduisant à un dégagement entre 0,0146 m<sup>3</sup>/s. La vitesse d'air au niveau des points de fuite identifiés est de 0,28 et 0,32 m/s conduisant dans le premier cas à une dilution élevée et dans le deuxième cas à une dilution moyenne (par lecture graphique de la figure C.1 de la norme NF EN 60079-10-1).</p>

Source de dégagement	Degré de dilution	Disponibilité	Justification
Echappement moteur en cas de mauvaise combustion (incomplète)	Elevé	Bonne	Disponibilité : cf ligne précédente Degré de dilution : considérant un débit d'extraction d'air du conduit de 1900 m <sup>3</sup> /h (soit 0,53 m <sup>3</sup> /s) et une vitesse de ventilation de 26 m/s, la dilution sera considérée comme élevée (par lecture graphique de la figure C.1 de la norme NF EN 60079-10-1).

### 3.6. Proposition de zonage ATEX

Les éléments précédents ainsi que les éléments de la littérature (guides sectoriels/généralistes pour le zonage ATEX, normes AFNOR) ont permis de définir une proposition de zonage pour le périmètre du site d'étude.

Tableau 8 : Zonage ATEX du site d'étude

Source de dégagement	Localisation	Zonage	Justification
Cuve de stockage double compartimentée d'essence SP-95	Aire de stockage carburants extérieure	Zone 0 : ciel de la cuve	Les vapeurs d'essence forment avec l'air une ATEX présente en permanence dans le ciel gazeux de la cuve.
2 événements de respiration associés à la cuve de stockage d'essence SP-95	Aire de stockage carburants extérieure	Zone 1 : intérieur de l'événement Zone 1 EN <sup>5</sup> à la sortie de l'événement assimilée à un emplacement non dangereux	L'intérieur de l'événement peut présenter une zone 1 lors des opérations de remplissage de la cuve lorsque les vapeurs d'essence mélangées à l'air vont être chassées hors de la cuve. Une zone 1 est également retenue à la sortie de l'événement, cependant, du fait des bonnes conditions de ventilation permettant une dispersion importante du dégagement et de la bonne disponibilité de la ventilation (ventilation naturelle en extérieur sans encombrement), l'étendue de cette zone peut être négligée conformément au tableau D.1 de la norme [02].
Nourrice d'essence SP-95	Local de stockage à l'étage	Zone 0 : ciel de la nourrice	Même raisonnement que pour la cuve de stockage ci-dessus.
Raccords entre nourrice SP-95 et tuyauterie/flexibles	Local de stockage à l'étage	Emplacement non dangereux	Selon le guide [05], au paragraphe 5.2, seuls les éléments non soudés sur tuyauterie (brides, vannes) d'un DN>25 peuvent entraîner une classification de type zone 2, ce qui n'est pas le cas pour ce dégagement.
Event de respiration associé à la nourrice d'essence SP-95	Façade Nord du bâtiment	Zone 1 : intérieur de l'événement Zone 1 EN à la sortie de l'événement assimilée à un emplacement non dangereux	Même raisonnement que pour les événements associés à la cuve de stockage ci-dessus.
Raccords entre robinet bouteilles d'hydrogène et circuit de distribution	Parc à gaz	Zone 2 : sphère de 1 m de rayon autour des raccords	Cf paragraphe 5.4 de l'Annexe 1.
Vannes et autres organes sur le circuit d'hydrogène extérieur installés à l'aide de raccords non soudés	Parc à gaz	Zone 2 EN assimilée à un emplacement non dangereux	Cf paragraphe 5.4 de l'Annexe 1 et tableau D.1 de la norme [02].

<sup>5</sup> EN : Etendue Négligeable indiquant une zone théorique dont l'étendue est négligeable dans les conditions normales (selon définition donnée dans la norme [02])

Source de dégagement	Localisation	Zonage	Justification
Soupape de sécurité sur la panoplie de détente	Parc à gaz	Zone 2 : sphère de 2 m de rayon ayant pour centre la soupape	Cf paragraphe 5.4 de l'Annexe 1.
Events de purge H2	Toiture du bâtiment façade Nord	Zone 1 : sphère de 1 m de rayon ayant pour centre le point de rejet de l'évent	Cf paragraphe 5.4 de l'Annexe 1.
Raccord robinet-détendeur de la bouteille d'HELID-S	Local CTA à l'étage	Zone 2 : sphère de 1 m de rayon autour du raccord	Etendue de zone obtenue à l'aide de l'abaque en figure D.1 de la norme [02] pour un dégagement de type diffus (jet impacté) et une caractéristique de dégagement volumétrique de 0,0528 m <sup>3</sup> /s.
Raccord détendeur-flexible de distribution de la bouteille d'HELID-S	Local CTA à l'étage	Zone 2 : sphère de 10 cm de rayon autour du raccord	Même raisonnement que la ligne précédente avec une caractéristique de dégagement volumétrique de 7,04.10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup> /s.
Raccords non soudés sur la distribution principale d'essence SP-95 (électrovanne, vanne manuelle, baromètre)	Hall principal du bâtiment	Emplacement non dangereux	Selon le guide [05], au paragraphe 5.2, seuls les éléments non soudés sur tuyauterie (brides, vannes) d'un DN>25 peuvent entraîner une classification de type zone 2, ce qui n'est pas le cas pour ce dégagement (tuyauterie de DN 20).
Raccord non soudé entre la tuyauterie de distribution et la vanne manuelle	Cellule banc d'essai n°1	Zone 2 EN assimilée à un emplacement non dangereux	Etendue de zone négligeable conformément au tableau D.1 de la norme [02] pour de bonnes conditions de ventilation (dispersion élevée et assez bonne disponibilité de la ventilation mécanique) et un dégagement secondaire.
Réservoir du système de régulation de la distribution d'essence SP-95 au banc d'essai	Cellule banc d'essai n°1	Zone 0 : ciel du réservoir	Les vapeurs d'essence forment avec l'air une ATEX présente en permanence dans le ciel gazeux du réservoir.
Raccords entre flexibles d'arrivée et départ et le réservoir du système de régulation de la distribution d'essence SP-95 au banc d'essai	Cellule banc d'essai n°1	Zone 2 EN assimilée à un emplacement non dangereux	Etendue de zone négligeable conformément au tableau D.1 de la norme [02] pour de bonnes conditions de ventilation (dispersion élevée et assez bonne disponibilité de la ventilation mécanique) et un dégagement secondaire.
Raccord non soudé entre la tuyauterie de distribution et la vanne manuelle	Cellule banc d'essai n°2	Zone 2 EN assimilée à un emplacement non dangereux	Etendue de zone négligeable conformément au tableau D.1 de la norme [02] pour de bonnes conditions de ventilation (dispersion élevée et assez bonne disponibilité de la ventilation mécanique) et un dégagement secondaire.

Source de dégagement	Localisation	Zonage	Justification
Réservoir du système de régulation de la distribution d'essence SP-95 au banc d'essai	Cellule banc d'essai n°2	Zone 0 : ciel du réservoir	Les vapeurs d'essence forment avec l'air une ATEX présente en permanence dans le ciel gazeux du réservoir.
Raccords entre flexibles d'arrivée et départ et le réservoir du système de régulation de la distribution d'essence SP-95 au banc d'essai	Cellule banc d'essai n°2	Zone 2 EN assimilée à un emplacement non dangereux	Etendue de zone négligeable conformément au tableau D.1 de la norme [02] pour de bonnes conditions de ventilation (dispersion élevée et assez bonne disponibilité de la ventilation mécanique) et un dégagement secondaire.
Raccords non soudés entre la vanne et la tuyauterie du circuit hydrogène avant détente (P=80 barg)	Cellule banc d'essai n°3	Zone 2 : sphère de 80 cm autour du raccord	Cf paragraphe 5.4 de l'Annexe 1.
Raccord tuyauterie-débitmètre (entrée débitmètre)	Cellule banc d'essai n°3	Zone 2 : sphère de 80 cm autour du raccord	Cf paragraphe 5.4 de l'Annexe 1.
Raccord débitmètre-tuyauterie (sortie débitmètre)	Cellule banc d'essai n°3	Zone 2 : sphère de 60 cm autour du raccord	Cf paragraphe 5.4 de l'Annexe 1.
Connexion du flexible au moteur	Cellule banc d'essai n°3	Zone 2 : sphère de 60 cm autour des connexions	Cf paragraphe 5.4 de l'Annexe 1.
Echappement moteur en cas de mauvaise combustion (incomplète)	Cellule banc d'essai n°3	Zone 2 pour l'ensemble du volume intérieur du conduit d'extraction et sphère de 1 m de rayon à la sortie du conduit à l'extérieur.	Cf paragraphe 5.4 de l'Annexe 1.
Produits inflammables en petit contenant	Armoire de stockage des produits chimiques	Zone 0 : ciel des contenants des liquides inflammables Zone 2 : intérieur de l'armoire	Les vapeurs de liquide inflammable forment avec l'air une ATEX présente en permanence dans le ciel gazeux du contenant. Zone 2 dans le volume en cas de déversement d'un produit inflammable et en l'absence de ventilation.

Source de dégagement	Localisation	Zonage	Justification
Raccords non soudés sur le circuit de distribution d'hydrogène de la cellule d'essai banc marin 1 MW	Cellule d'essai banc marin 1 MW	Zone 2 : sphère de 80 cm autour des raccords non soudés du module gestionnaire d'hydrogène	<p>Le dégagement d'hydrogène calculé pour une fuite de 0,025 mm<sup>2</sup> (section de fuite considérée pour les raccords à faible alésage selon le tableau B.1 de la norme [02]), une pression du circuit de 60 barg, une LIE à 4%, une température ambiante et une température à l'intérieur du circuit de 15°C et de 0,028 m<sup>3</sup>/s conduisant à la formation d'une sphère de 71 cm de rayon (hypothèse d'un rejet de type diffus étant donné les obstacles présents à proximité des points de rejet potentiels) arrondi à un rayon de 80 cm.</p> <p>Remarque : aucune zone ATEX n'est retenue au niveau des raccords non soudés sous la hotte associée au banc d'essai moteur conformément au tableau D.1 de la norme [02] pour de bonnes conditions de ventilation (dispersion élevée et bonne disponibilité de la ventilation mécanique) et un dégagement secondaire.</p> <p>Remarque 2 : il ne sera pas considéré d'accumulation d'hydrogène dans le local étant donné le système de ventilation.</p>
Echappement moteur en cas de mauvaise combustion (incomplète)	Cellule d'essai banc marin 1 MW	Zone 2 EN assimilée à un emplacement non dangereux	<p>Etendue de zone négligeable conformément au tableau D.1 de la norme [02] pour de bonnes conditions de ventilation (dispersion élevée et bonne disponibilité de la ventilation mécanique) et un dégagement secondaire.</p>
Raccords non soudés sur le circuit de distribution d'hydrogène de la cellule d'essai banc marin 500 kW	Cellule d'essai banc marin 500 kW	Zone 2 : sphère de 80 cm autour des raccords non soudés du module gestionnaire d'hydrogène	<p>Le dégagement d'hydrogène calculé pour une fuite de 0,025 mm<sup>2</sup> (section de fuite considérée pour les raccords à faible alésage selon le tableau B.1 de la norme [02]), une pression du circuit de 60 barg, une LIE à 4%, une température ambiante et une température à l'intérieur du circuit de 15°C et de 0,028 m<sup>3</sup>/s conduisant à la formation d'une sphère de 71 cm de rayon (hypothèse d'un rejet de type diffus étant donné les obstacles présents à proximité des points de rejet potentiels) arrondi à un rayon de 80 cm.</p> <p>Remarque : aucune zone ATEX n'est retenue au niveau des raccords non soudés sous la hotte associée au banc d'essai moteur conformément au tableau D.1 de la norme [02] pour de bonnes conditions de ventilation (dispersion élevée et bonne disponibilité de la ventilation mécanique) et un dégagement secondaire.</p> <p>Remarque 2 : il ne sera pas considéré d'accumulation d'hydrogène dans le local étant donné le système de ventilation.</p>



Source de dégagement	Localisation	Zonage	Justification
Echappement moteur en cas de mauvaise combustion (incomplète)	Cellule d'essai banc marin 500 kW	Zone 2 EN assimilée à un emplacement non dangereux	Etendue de zone négligeable conformément au tableau D.1 de la norme [02] pour de bonnes conditions de ventilation (dispersion élevée et bonne disponibilité de la ventilation mécanique) et un dégagement secondaire.

## 4. REFLEXION SUR LE DECLASSEMENT DES ZONES ATEX

Avant d'envisager la gestion des zones ATEX identifiées, il convient de réfléchir aux possibilités de suppression/réduction de ces zones à la source. Cette logique est conforme à l'article L.4121-2 du Code du Travail qui énonce les neuf principes de prévention à mettre en œuvre par ordre de préférence :

- « 1° Eviter les risques ;*
- 2° Evaluer les risques qui ne peuvent pas être évités ;*
- 3° Combattre les risques à la source ;*
- 4° Adapter le travail à l'homme, en particulier en ce qui concerne la conception des postes de travail ainsi que le choix des équipements de travail et des méthodes de travail et de production, en vue notamment de limiter le travail monotone et le travail cadencé et de réduire les effets de ceux-ci sur la santé ;*
- 5° Tenir compte de l'état d'évolution de la technique ;*
- 6° Remplacer ce qui est dangereux par ce qui n'est pas dangereux ou par ce qui est moins dangereux ;*
- 7° Planifier la prévention en y intégrant, dans un ensemble cohérent, la technique, l'organisation du travail, les conditions de travail, les relations sociales et l'influence des facteurs ambiants, notamment les risques liés au harcèlement moral et au harcèlement sexuel, tels qu'ils sont définis aux articles L. 1152-1 et L. 1153-1, ainsi que ceux liés aux agissements sexistes définis à l'article L. 1142-2-1 ;*
- 8° Prendre des mesures de protection collective en leur donnant la priorité sur les mesures de protection individuelle ;*
- 9° Donner les instructions appropriées aux travailleurs. »*

La démarche de réflexion sur le déclassement des zones ATEX permet de répondre au 1°.

### 4.1. Réflexions générales sur le déclassement

De manière générale, la démarche consistant à la substitution des matières susceptibles de former des ATEX par d'autres matières, peut être engagée. Il faut alors considérer les points éclairés de ces matières, afin de privilégier les matières ayant un point éclair supérieur à la température de mise en œuvre de ces matières. Cependant, les substances inflammables à l'origine des zones ATEX sont nécessaires au fonctionnement des installations.

### 4.2. Réflexions spécifiques relatives à certaines zones ATEX

#### 4.2.1. Retrait des équipements non nécessaires

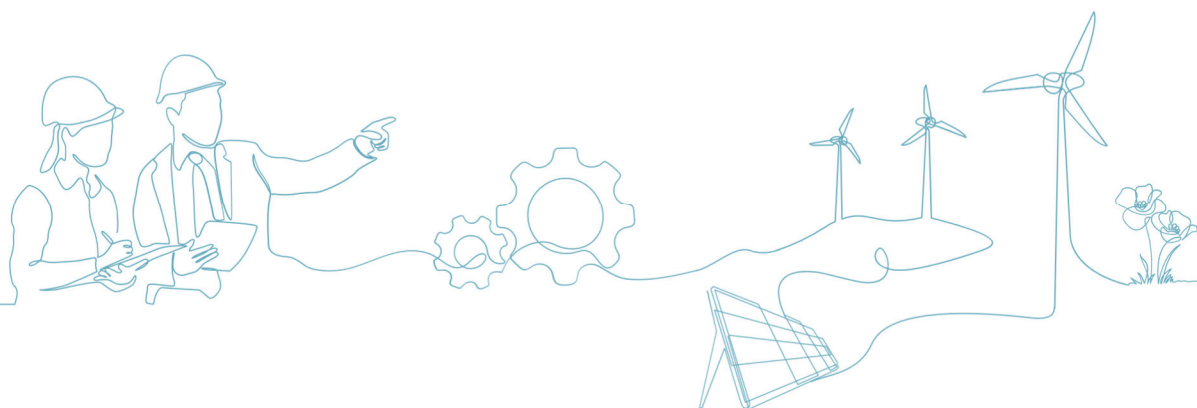
La bouteille d'HELID-S pourrait être déplacée au parc à gaz pour éviter la formation d'une ATEX dans le local des CTA au R+1.

#### 4.2.2. Mise en place d'une ventilation

Le choix de remplacer l'armoire de stockage des produits chimiques par une armoire ventilée permettrait potentiellement de se prémunir d'une zone 2 en cas de déversement de produit inflammable dans l'armoire.

Comme précisé au paragraphe 5.5 du rapport en Annexe 1, il serait possible de déclasser certaines zones identifiées dans la cellule 3 comportant le banc d'essai moteur converti à l'hydrogène par augmentation du débit de ventilation permettant d'atteindre des vitesses d'au moins 0,2 m/s voire 0,4 m/s selon les dégagements. Cependant, le risque ATEX au sein de cette cellule est considéré comme maîtrisé du fait de l'existence d'un asservissement de l'alimentation électrique au déclenchement de la détection hydrogène à l'atteinte de 25% de la LIE soit 1% d'hydrogène dans l'air (détecteurs gaz hydrogène installés dans la gaine d'extraction d'échappement, également près de l'organe d'extraction global de la cellule au plafond et au niveaux des deux hottes d'aspiration au-dessus du moteur et du système de régulation).

# ANNEXES



# **ANNEXE 1 : ETUDE DE FAISABILITE DU PROJET HYMOT – ASSISTANCE AU CLASSEMENT DES ZONES ATEX / REVUE REGLEMENTAIRE ICPE**

Bureau Veritas

Rapport n°14300599-1 / 1-7UZ447I Rév.0 – 04/2023

(37 pages)

**EXPEDITEUR**

Bureau Veritas Exploitation

Alice PAUMARD  
Responsable d'Opérations  
Service Maîtrise des risques HSE

Téléphone : +33 6 42 51 75 85  
Mail : [alice.paumard@bureauveritas.com](mailto:alice.paumard@bureauveritas.com)

**DESTINATAIRE**

ECOLE CENTRALE NANTES

A l'attention de :  
M. Nicolas PERROT  
Ingénieur Recherche – Banc d'essai test moteur

Email : [nicolas.perrot@ec-nantes.fr](mailto:nicolas.perrot@ec-nantes.fr)

**Etude de faisabilité du projet****Assistance au classement des zones ATEX / Revue réglementaire ICPE**

Nom de l'installation : **Projet Hydrogène**

***ECOLE CENTRALE – Site de NANTES (44)***

Référence du client : /

Rapport N° : 14300599-1 / 1-7UZ447I Rév.0

Ce rapport annule et remplace : /

VERSION	Date de démarrage	Date d'émission du rapport	Rédigé par
0	26/04/2022	18/04/2023	ALICE PAUMARD

Ce rapport contient 37 pages dont 3 annexes.

Copyright Bureau Veritas Exploitation – Toute reproduction interdite



**BUREAU  
VERITAS**

Bureau Veritas Exploitation SAS - Société par Actions Simplifiée au capital social de 36 315 050 euros  
Siège social : 8, cours du Triangle - 92800 Puteaux - RCS Nanterre B 790 184 675

## Sommaire :

<b>1. GLOSSAIRE</b>	<b>3</b>
<b>2. INTRODUCTION</b>	<b>4</b>
2.1 CONTEXTE	4
2.2 IDENTIFICATION DES INSTALLATIONS CONCERNEES	4
2.3 DESCRIPTION DE LA VENTILATION PREVUE PAR HORIBA	7
<b>3. DOCUMENTS DE REFERENCE</b>	<b>8</b>
3.1 TEXTES REGLEMENTAIRES :	8
3.2 REGLES DE L'ART :	8
3.3 AUTRES DOCUMENTS UTILISES	8
3.4 DOCUMENTATIONS TRANSMISES PAR LE CLIENT :	9
<b>4. REVUE REGLEMENTAIRE ICPE/PLU DU PROJET</b>	<b>10</b>
4.1 DONNEES D'ENTREE	10
4.2 CLASSEMENT ICPE PREALABLE DU PROJET	10
4.3 RAPPEL DES EXIGENCES DU PLUM APPLICABLE	11
<b>5. DEFINITION DES ZONES ATEX</b>	<b>14</b>
5.1 OBJECTIF :	14
5.2 SUBSTANCES MISE EN ŒUVRE :	14
5.3 DESCRIPTION GENERALE DES PROCEDES :	15
5.4 FICHE DE DETERMINATION DES ZONES ATEX :	17
5.5 CONCLUSION SUR LE ZONAGE ATEX	24
<b>6. AVIS CRITIQUE SUR REPONSE FOURNISSEUR</b>	<b>25</b>
<b>7. CONCLUSIONS GENERALES SUR LA MAITRISE DU RISQUE ATEX</b>	<b>27</b>
<b>ANNEXE 1 – NOTES DE CALCULS DE DILUTION</b>	<b>28</b>
<b>ANNEXE 2 – METHODOLOGIE DE ZONAGE</b>	<b>31</b>
SIGNIFICATION DES SYMBOLES UTILISES	31
DEFINITION DES ZONES ATEX SELON LA NF EN 60079-10-1	32
DEGRE DE DILUTION	33
INFLUENCE DE LA DILUTION :	33
DEGRE DE DEGAGEMENT	34
DISPONIBILITE DE LA VENTILATION	34
CRITERES DE VENTILATION ARTIFICIELLE :	35
ESTIMATION DE LA DUREE EXIGEE POUR DILUER UN DEGAGEMENT DE SUBSTANCE INFLAMMABLE	35
VENTILATION PAR EXTRACTION LOCALE	35
EXEMPLE DE DEFINITION DE LA TYPOLOGIE D'UNE ZONE ATEX	36
<b>ANNEXE 3 - EXIGENCES DU CODE DU TRAVAIL AU REGARD DU RISQUE D'EXPLOSION</b>	<b>37</b>
<b>Liste des tableaux</b>	
TABLEAU 1 : LISTE DES BATIMENTS ET PROCEDES .....	4
TABLEAU 2 : LISTE DES REFERENTIELS TECHNIQUES.....	8
TABLEAU 3 : LISTE DES DOCUMENTS AUTRES UTILISES .....	8
TABLEAU 4 : LISTE DES DOCUMENTS REMIS PAR LE CLIENT .....	9
TABLEAU 5 : PROCEDES ET SUBSTANCES UTILISEES .....	14
TABLEAU 6 : CARACTERISTIQUES PHYSICOCHIMIQUES DES SUBSTANCES INFLAMMABLES SOUS FORME DE GAZ OU VAPEUR .....	14

## 1. GLOSSAIRE

<b>ICPE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Installation classées pour la Protection de l'Environnement</li> </ul>
<b>ATEX</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atmosphère Explosive : mélange d'air, dans des conditions atmosphériques, avec des substances inflammables sous forme de gaz, de vapeur, de poussières, de fibres ou de particules en suspension dans lequel, après inflammation, la combustion se propage à l'ensemble du mélange non brûlé.</li> </ul>
<b>Emplacement dangereux</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Emplacement dans lequel une atmosphère explosive gazeuse est présente, ou dans lequel on peut s'attendre à ce qu'elle soit présente, en quantités suffisantes pour nécessiter des précautions particulières pour la construction, l'installation et l'utilisation d'équipements</li> </ul>
<b>Emplacement non-dangereux</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Emplacement dans lequel on ne prévoit pas qu'une atmosphère explosive gazeuse soit présente en quantités suffisantes pour nécessiter des précautions particulières pour la construction, l'installation et l'utilisation d'équipements</li> </ul>
<b>source de dégagement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Point ou endroit d'où un gaz, une vapeur, un brouillard ou un liquide inflammable peut être libéré dans l'atmosphère, de telle sorte qu'une atmosphère explosive gazeuse soit créée</li> </ul>
<b>degrés de dégagement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Il y a trois degrés de dégagement de base, énumérés ci-dessous par ordre décroissant de probabilité de présence d'une atmosphère explosive gazeuse: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) degré continu;</li> <li>b) premier degré;</li> <li>c) deuxième degré.</li> </ul> </li> <li>Une source de dégagement peut donner lieu à n'importe lequel de ces degrés de dégagement ou à une combinaison de plusieurs d'entre eux</li> </ul>
<b>fonctionnement normal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Situation dans laquelle l'installation fonctionne selon ses paramètres nominaux</li> <li>- NOTE 1 De petits dégagements de matière inflammable peuvent faire partie du fonctionnement normal. Par exemple, des fuites des garnitures d'étanchéité lubrifiées par le liquide pompé sont considérées comme de petits dégagements.</li> <li>- NOTE 2 Des défaillances (telles que la rupture de garnitures d'étanchéité de pompe ou de joints de brides ou des épandages provoqués par des accidents) qui entraînent une réparation ou un arrêt urgent, ne sont pas considérées comme faisant partie du fonctionnement normal, ni comme étant catastrophiques.</li> </ul>
<b>EMI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energie Minimale d'Inflammation</li> </ul>
<b>PE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Point Eclair : 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</li> </ul>
<b>LIE (ou LII ou LEL)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limite Inférieure d'Explosivité : concentration de gaz, de vapeur ou de brouillard inflammable dans l'air, au-dessous de laquelle une atmosphère explosive gazeuse ne peut pas être formée</li> </ul>
<b>LES (ou LSI ou UEL)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limite Supérieure d'Explosivité : concentration de gaz, de vapeur ou de brouillard inflammable dans l'air, au-dessus de laquelle une atmosphère inflammable gazeuse ne peut pas être formée</li> </ul>
<b>TAI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Température d'Auto-Inflammation : température la plus basse d'une partie chaude pour laquelle une inflammation se produit.</li> </ul>
<b>Poussière conductrice</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Poussière combustible dont la résistivité électrique est inférieure ou égale à <math>10^3</math> ohm.m. La poussière conductrice est classée en Groupe IIIC.</li> </ul>
<b>Poussière non conductrice</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Poussière combustible dont la résistivité électrique est supérieure à <math>10^3</math> ohm.m. La poussière non conductrice est classée en Groupe IIIB.</li> <li>Particules solides y compris les fibres, de taille nominale supérieure à 500 <math>\mu</math>m, qui peuvent former un mélange explosif avec l'air, dans des conditions de pression et température normales. Les particules combustibles en suspension sont classées en Groupe IIIA.</li> </ul>
<b>zone 0/20</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Emplacement dans lequel une atmosphère explosive est présente en permanence, ou pendant de longues périodes ou encore fréquemment</li> </ul>
<b>zone 1/21</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Emplacement dans lequel il est probable qu'une atmosphère explosive gazeuse apparaîtra occasionnellement en fonctionnement normal</li> </ul>
<b>zone 2/22</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>



## 2. Introduction

### 2.1 Contexte

L'équipe de recherche D2SE, sur les systèmes énergétiques complexes, de l'ECOLE CENTRALE NANTES projette de modifier un banc d'essais moteur conventionnel (gasoil) pour le rendre compatible avec un moteur à combustion interne à l'hydrogène (projet « HYMOT »).

Cela implique les modifications / ajouts suivants :

- Stockage d'hydrogène sous forme de bouteilles à l'extérieur du bâtiment (quantité < 100 kg sous le seuil ICPE),
- Détente 250 barg => 80 barg en extérieur,
- Tuyauterie de transport de l'hydrogène du rack de bouteilles à la cabine d'essai à l'intérieur de l'atelier (bâtiment non ERP),
- Panoplie de détention et régulation 80 barg => 40 barg à l'intérieur de la cabine,
- Modification de la structure et de la ventilation de la cabine d'essai de conception « HORIBA » pour être compatible avec le risque hydrogène.

Le client souhaite être accompagné d'un support technique et réglementaire pour synthétiser les contraintes d'implantation et de sécurité liées au projet, et vérifier l'adéquation des solutions techniques proposées par HORIBA.

Ce document présente les conclusions de notre assistance technique, articulée autour des missions suivantes :

- Revue réglementaire ICPE/PLU
- Assistance à la maîtrise des risques d'explosion (classement de zone ATEX et préconisations techniques, calcul du débit minimal de ventilation requis dans la cabine) ;
- Avis critique de la réponse du fournisseur HORIBA.

### 2.2 Identification des installations concernées

La liste des bâtiments, ateliers et locaux qui nous a été donné de visiter et concernés par le présent rapport, est la suivante :

Nom du bâtiment	Nom du procédé
Bâtiment H	Cellule d'essais moteur

Tableau 1 : Liste des bâtiments et procédés

L'équipe D2SE est lauréate d'un projet de recherche, au sein d'un consortium, portant sur le développement d'un moteur à combustion interne à hydrogène (hydrogène gazeux). En complément de tâches de modélisation, des essais sur banc moteur sont prévus.

Aujourd'hui l'équipe dispose de plusieurs bancs d'essais moteur adaptés aux carburants liquides. Il faut adapter une cellule au fonctionnement avec de l'hydrogène gazeux tant en termes fonctionnels que sécuritaires mais aussi adapter le circuit de distribution de carburant existants.

La cellule qui sera modifiée correspond à la cellule 1, cf. Figure 1.



**Figure 1: Hall moteur (cellule 1 dans le cadre rouge)**



**Figure 2: Mur extérieur bâtiment H**

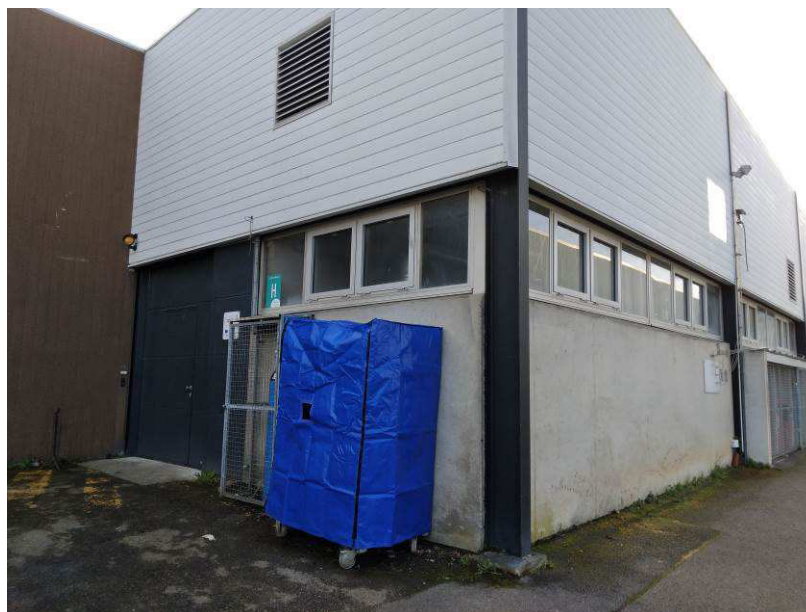


Figure 3 : Mur extérieur bâtiment H, côté entrée hall moteur

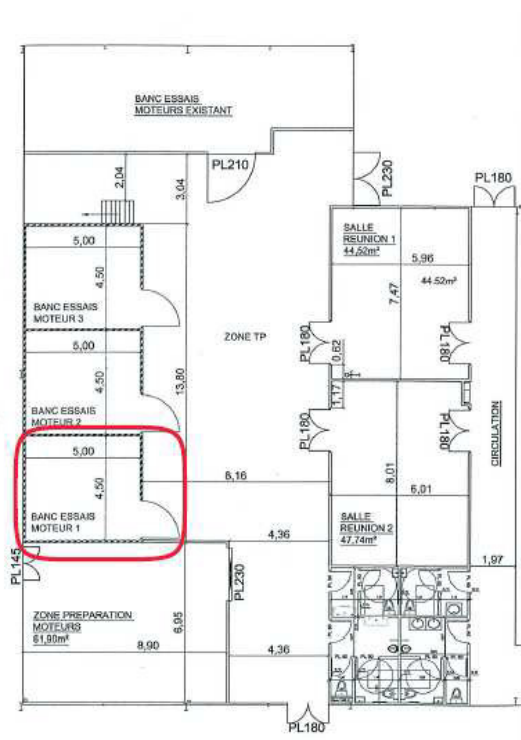


Figure 4 : Implantation de la cellule concernée sur le plan de masse du bâtiment

L'installation est composée des éléments suivants :

- Stockage d'hydrogène sous forme de bouteilles à l'extérieur du bâtiment (6 x 18 bouteilles = **quantité stockée = 88 kg < 100 kg / AIR LIQUIDE prévoit une rotation par semaine**),
- Détente 250 barg => 80 barg en extérieur,
- Tuyauterie de transport de l'hydrogène du rack de bouteilles à la cabine d'essai à l'intérieur de l'atelier (bâtiment non ERP),
- Panoplie de détention et régulation 80 barg => 40 barg à l'intérieur de la cabine.

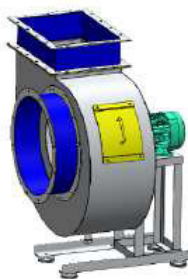
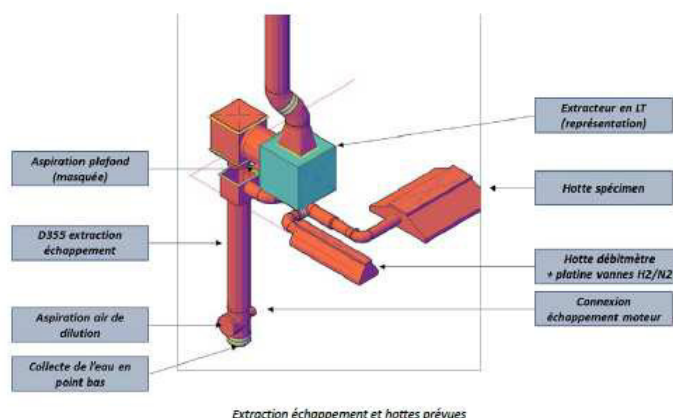
## 2.3 Description de la ventilation prévue par HORIBA

Dans le cadre du projet de conversion, HORIBA prévoit les modifications aérauliques suivantes, d'après le document transmis en mars 2023 :

- Le remplacement de l'extracteur échappement situé dans le local technique au-dessus de la cellule
  - Nouveau débit = 5.000 m<sup>3</sup>/h (4.000 m<sup>3</sup>/h actuellement)
  - Construction tout inox (évite l'accumulation de charge d'électricité statique donc prévention du risque ATEX)
  - Certification ATEX zone 2 pour la volute
  - Puissance : 2.2 kW
  - Marque : EUROVENTILATORI
  - Entraînement poulie/courroie (moteur hors flux non ATEX)
- La modification de la gaine d'extraction échappement dans la cabine
  - Ajout d'un point d'extraction au plafond en 300x300 (grille + registre manuel)
  - Ajout d'une hotte ainsi que de la gaine d'extraction associée au niveau du moteur (hotte 1400x1200x300mm)
  - Ajout d'une hotte ainsi que de la gaine d'extraction associée au niveau du débitmètre hydrogène (hotte 400x2000x300mm) – Cette hotte inclura également la platine de sécurité H2/N2 (vanne manuelle et électrovanne H2)

Chaque antenne comportera un registre d'équilibrage manuel.

Ci-dessous le plan 3D de ce qui est prévu au niveau de l'extraction échappement/hottes :



Extracteur Euroventilatori à entraînement poulie/courroie – 2.2 kW

### 3. Documents de référence

#### 3.1 Textes réglementaires :

Les textes réglementaires qui servent de base au présent audit sont les suivants :

##### Réglementation ICPE :

- ✓ Nomenclature des ICPEs, version 53 de mars 2023.

##### Réglementation ATEX :

- ✓ DIRECTIVE 1999/92/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 16 décembre 1999 concernant les prescriptions minimales visant à améliorer la protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphères explosives
- ✓ DIRECTIVE 2014/34/UE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 26 février 2014 relative à l'harmonisation des législations des États membres concernant les appareils et les systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosibles
- ✓ Articles R4227-42 à R4227-54 du code du travail sur la prévention des explosions (obligations de l'employeur pour l'utilisation des lieux de travail);
- ✓ Arrêté du 28 juillet 2003 relatif aux conditions d'installation des matériels électriques dans les emplacements où des atmosphères explosives peuvent se présenter (abrogeant l'arrêté du 19 décembre 1988) ;

#### 3.2 Règles de l'art :

Les normes faisant références et utilisées dans le cadre du présent rapport sont les suivantes :

N° de la norme	Titre	Date
NF EN 60079-10-1	Atmosphères explosives. Partie 10-1 : Classement des emplacements – Atmosphères explosives gazeuses.	Mai 2016
NF EN 60079-20-1	Atmosphères explosives - Partie 20-1 : caractéristiques des substances pour le classement des gaz et des vapeurs - Méthodes et données d'essai.	Juin 2010

Tableau 2 : Liste des référentiels techniques

#### 3.3 Autres documents utilisés

Titre	Date
PLUM de la ville de Nantes, Planche H20	16/12/2022
PLUM de la ville de Nantes, Règlement v 4.1.1	16/12/2022
Guide SUVAPRO – Prévention des explosions	Août 2015

Tableau 3 : Liste des documents autres utilisés

### 3.4 Documentations transmises par le client :

Il a été transmis à BUREAU VERITAS le(les) document(s) suivant(s) :

Nom du document	Version	Date	Nb page(s)
CCTP – Projet d'adaptation d'un banc d'essais moteurs pour un fonctionnement à l'hydrogène gazeux au bâtiment H – Partie process	1	30/03/2022	12
Présentation du système de mesure et de conditionnement d'hydrogène Hy FQ 2250 - HORIBA	B	25/01/2022	16
Réponse du prestataire HORIBA au CCTP – Descriptif technique ref. FC/11/2201/014indA	A	29/06/2022	23
Analyse de risque ATEX menée par HORIBA	0	06/03/2023	18
Mail d'information du 24/02/2023 – Nicolas PERROT	/	24/02/2023	/

Tableau 4 : Liste des documents remis par le client



## 4. Revue réglementaire ICPE/PLU du projet

L'étude proposée par Bureau Veritas a pour objet d'identifier les textes réglementaires du code de l'environnement (arrêtés ministériels de prescriptions générales liées aux rubriques ICPE) visant les installations et pouvant être considérés comme textes de référence pour le projet.

### 4.1 Données d'entrée

La cellule d'essais sera alimentée via des cadres de bouteille d'hydrogène : 6 cadres seront présents à l'extérieur du bâtiment.

La quantité maximale stockée et présente dans l'installation sera **de 88 kg**. AIR LIQUIDE assurera **une rotation de camion par semaine** pour ne pas augmenter le stockage sur site.

### 4.2 Classement ICPE préalable du projet

Le projet est concerné par la rubrique 4715 de la nomenclature des ICPE :

Hydrogène (numéro CAS 133-74-0).

La quantité susceptible d'être présente dans l'installation étant :	
1. Supérieure ou égale à 1 t	(A-2)
2. Supérieure ou égale à 100 kg mais inférieure à 1 t	(D)

=> La quantité susceptible d'être présente dans l'installation étant inférieure à 100 kg, le projet n'est pas classé selon la rubrique 4715.

=> Le projet n'est pas concerné par la rubrique 2910 : Combustion, l'hydrogène n'étant pas listé dans les combustibles visés la rubrique.

=> Le projet n'est pas soumis à la réglementation ICPE.

Nous rappelons pour information les exigences de l'arrêté du 12 février 1998 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique n° 4715, **qui deviendrait applicable si la quantité présente venait à augmenter et devenir supérieure à 100 kg**.

Sujet	Exigences de l'AMPG rubrique 4715 ICPE
Distance d'implantation H2 gazeux	<p>L'installation doit être implantée à une distance d'au moins :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- si elle est située à l'air libre ou sous auvent, à 8 mètres des limites de propriété ou de tout bâtiment,</li><li>- si le local contenant l'installation est fermé, à 5 mètres des limites de propriété ou de tout bâtiment.</li></ul> <p><b>Les distances de 8 à 5 mètres entre le bâtiment et le stockage de récipients d'hydrogène gazeux ne sont pas exigibles s'ils sont séparés par un mur plein sans ouverture, construits en matériaux incombustibles et de caractéristiques coupe-feu 2 heures, d'une hauteur minimale de 3 mètres et prolongé du stockage par un auvent construit en matériaux incombustibles et pare-flamme de degré 1 heure, d'une largeur minimale de minimale de 3 mètres en projection sur un plan horizontal. Ce mur doit être prolongé de part et d'autre et du côté du stockage par des murs de retour sans ouverture, construits en matériaux incombustibles et coupe-feu de degré 1 heure, d'une hauteur de 3 mètres et d'une longueur de 2 mètres au moins.</b></p>

Sujet	Exigences de l'AMPG rubrique 4715 ICPE
Comportement au feu des bâtiments	<p>Les locaux abritant les installations d'hydrogène gazeux doivent présenter les caractéristiques de réaction et de résistance au feu minimales suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- murs et planchers hauts coupe-feu de degré 2 heures,</li> <li>- toiture légère incombustible,</li> <li>- portes intérieures coupe-feu de degré 2 heures et munies d'un ferme-porte ou d'un dispositif assurant leur fermeture automatique,</li> <li>- porte donnant vers l'extérieur pare-flamme de degré 2 heures,</li> <li>- matériaux de classe M0 (incombustibles).</li> </ul> <p>Les locaux fermés doivent être équipés en partie haute de dispositifs permettant l'évacuation de l'hydrogène, des fumées et gaz de combustion dégagés en cas d'incendie (lanternes en toiture, ouvrants en façade ou tout autre dispositif équivalent). Les commandes d'ouverture manuelle sont placées à proximité des accès. Le système de désenfumage doit être adapté aux risques particuliers de l'installation.</p>
Moyens de lutte contre l'incendie	<p>L'installation doit être dotée de moyens de secours contre l'incendie appropriés aux risques et conformes aux normes en vigueur, notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 extincteur à poudre de 50 kg sur roues ;</li> <li>- 1 robinet d'eau de 40 mm, équipé d'une lance susceptible d'être mise instantanément en service.</li> </ul> <p>Ces matériels doivent être disposés à proximité de l'installation, maintenus en bon état et vérifiés au moins une fois par an. Le personnel doit être formé à l'utilisation des moyens de secours contre l'incendie. En cas d'incendie dans le voisinage de l'installation des dispositions doivent être prises pour protéger l'installation.</p>
Détection gaz	<p>Les détecteurs de gaz sont mis en place dans les parties de l'installation visées au point 4.3 présentant des risques en cas de dégagement et d'accumulation importante de gaz. Ces zones sont équipées de systèmes de détection dont les niveaux de sensibilité sont adaptés aux situations.</p>
Rejets atmosphériques	<p>Tout rejet de purge d'hydrogène devra se faire à l'air libre et, dans tous les cas, en un lieu et à une hauteur suffisante pour ne présenter aucun risque.</p>

### 4.3 Rappel des exigences du PLUm applicable

Le site de l'Ecole Centrales Nantes se trouve en parcelle US du PLUm de Nantes Métropole.

Comme indiqué dans le règlement du PLUm, « *La zone US est dédiée aux grands équipements d'intérêt collectif et de services publics qui concourent au fonctionnement de la métropole (recherche, enseignement supérieur, sport, culture, loisirs, gestion des déchets, transports, énergie...) ainsi qu'aux pôles d'équipements communaux ou intercommunaux.* »

**Le projet n'engendre pas de nouvelles constructions** (définition PLUm : « *édifice ou ouvrage fixe et pérenne générant un espace utilisable en sous-sol ou en surface* »).

Nous rappelons dans le tableau ci-après les dispositions applicables à la zone US d'après la partie 1.3 du règlement du PLUm de décembre 2022.

Sujet	Exigences du PLUm zone US
<p>Articles A.1 et A.2</p> <p>Affectation des activités</p>	<p>Non applicable</p> <p>Les activités objet du projet n'engendrent pas de construction d'emprise au sol supérieure à 25 m².</p> <p>Elles ne relèvent pas des sous destinations « Bureau », « Industrie » et ne sont pas considérées comme une « Annexe ».</p> <p>D'après le PLUm :</p> <p><i>« Une annexe est une construction secondaire, d'une emprise au sol inférieure ou égale à 25 m² et d'une hauteur maximale autorisée de 3,5 mètres, dont l'usage est destiné à apporter un complément aux fonctionnalités de la construction principale, tel que réserves, celliers, remises, abris de jardins, garages, abris à vélos, ateliers non professionnels, piscines... La destination des annexes au titre du Code de l'urbanisme est identique à celle de la construction à laquelle elle se rattache.</i></p> <p><i>La sous-destination « bureau » recouvre les constructions destinées aux activités de direction et de gestion des entreprises des secteurs primaires, secondaires et tertiaires.</i></p> <p><i>La sous-destination « industrie » recouvre les constructions destinées à l'activité extractive et manufacturière du secteur primaire, les constructions destinées à l'activité industrielle du secteur secondaire ainsi que les constructions artisanales du secteur de la construction ou de l'industrie, ces dernières étant désignées dans le PLUm sous le terme « artisanat de production ». Cette sous-destination recouvre notamment les activités de production, de construction ou de réparation susceptibles de générer des nuisances. »</i></p>
<p>Article B.1.1</p> <p>Implantation des constructions</p>	<p>Recul minimal de 5 m entre construction et limite d'emprise publique</p> <p>Distance au moins égal à la moitié de la hauteur de la construction sans pouvoir être inférieur à 3 m des limites séparatives</p> <p>Distance entre deux constructions sur même unité foncière : au moins égale à la moitié de la construction la plus haute sans pouvoir être inférieure à 4 m</p> <p>=&gt; Dispositions non applicables car pas de nouvelles construction dans le cadre du projet (stockage cadres bouteilles à l'extérieur + modification d'une cellule à l'intérieur d'un bâtiment existant)</p>

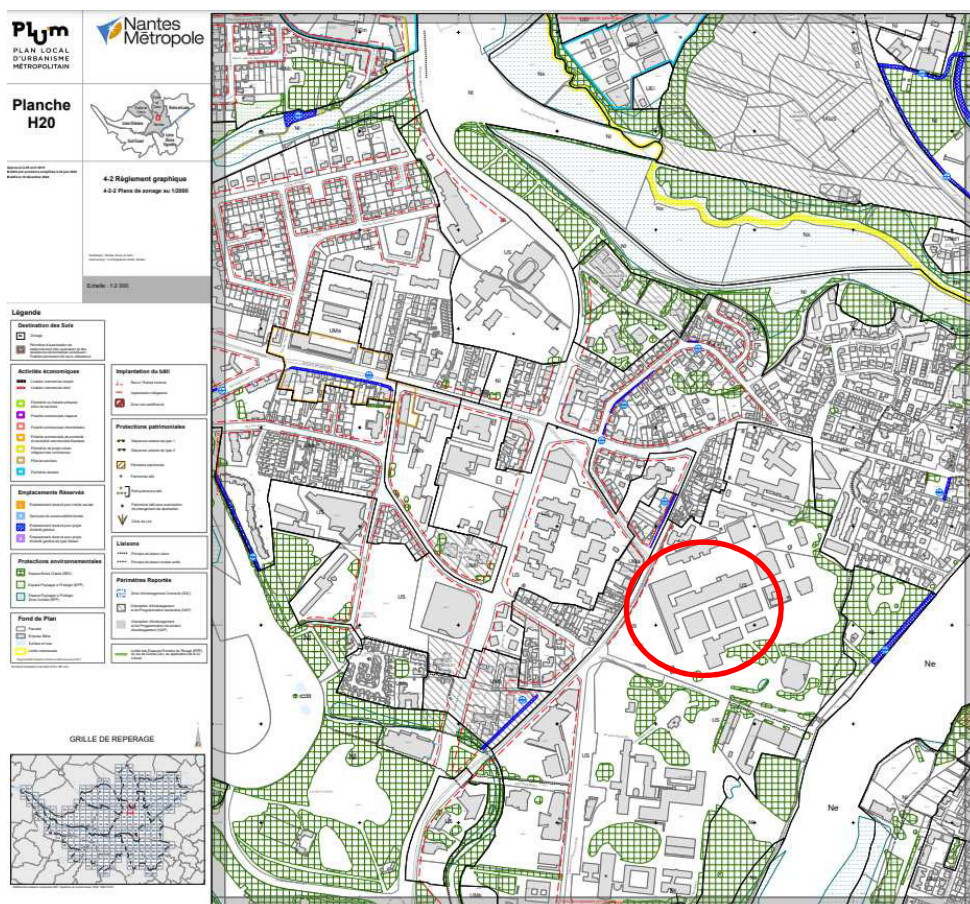


Figure 5 : Repérage de l'Ecole Centrale Nantes sur la planche H20 du PLUM

## 5. Définition des zones ATEX

### 5.1 Objectif :

L'objet de la prestation confiée à Bureau Veritas est de fournir des recommandations concernant le classement des zones ATEX de : bâtiments, ateliers, process... concernés (voir ci-après). La démarche comprend deux étapes :

- 1) **analyse fonctionnelle des process**, permettant de préciser l'ensemble des paramètres susceptibles d'avoir une influence sur le risque d'apparition de gaz ou de vapeurs explosives dans les installations concernées
- 2) **identification des "zones explosibles"** au sens de la réglementation ATEX (zone0, zone1, zone 2, zone20, zone 21, zone 22), en s'appuyant sur l'analyse fonctionnelle.

### 5.2 Substances mise en œuvre :

L'étude porte sur les procédés utilisant des substances inflammables sous forme de gaz, vapeur ou poussières inflammables. Ces informations ont été communiquées par le client qui en assure la validité.

Les substances utilisées par les différents procédés, au sein des locaux et ateliers concernés, selon la liste donnée au §2.2 ci-avant, sont les suivantes :

Désignation du procédé	Substances inflammables mise en œuvre
Alimentation des moteurs	Hydrogène
Maintenance des moteurs à combustion	Huiles de lubrification

Tableau 5 : Procédés et substances utilisées

Les caractéristiques principales de ces substances sont les suivantes :

Nom de la substance	Hydrogène	Huiles de lubrification
N° CAS	1333-74-0	-
Formule chimique	H <sub>2</sub>	-
Masse Molaire (kg/kmol)	2,02	-
Densité de vapeur (air=1)	0,07	-
Limite inf. d'explosivité (%/vol)	4	-
Limite sup. d'explosivité (%/vol)	77	-
Température d'auto inflammation (°C)	560	-
Classe de température	T1	-
Point éclair (°C)	-	> 100°C Pas d'émissions de vapeurs inflammables dans les conditions d'essais + absence de surfaces chaudes avec T° de surface > 100°C où l'huile pourrait stagner
Energie minimale d'inflammation	17μJ	-
Subdivision de gaz	IIC	-

Tableau 6 : Caractéristiques physicochimiques des substances inflammables sous forme de gaz ou vapeur

### 5.3 Description générale des procédés :

Afin de déterminer les typologies et étendues des zones ATEX, il est essentiel de comprendre le fonctionnement des procédés mettant en œuvre les substances inflammables.

Pour ce faire, lors de son intervention et à travers l'analyse de la documentation transmise, BUREAU VERITAS EXPLOITATION a procédé à la rédaction de « fiche » pour chaque procédé.

Ces fiches contiennent les informations, communiquées par le client, suivantes :

- Une description de la mise en œuvre des substances inflammables (stockage, phases de remplissage et de purge, manutention, identification des sources de dégagement...).
- Une description des mesures de prévention (inertage, test de fuite, ...participant à la réduction d'ATEX)
- Une description des dispositifs d'extraction d'air ou de poussières.
- Une description des dispositifs de sécurité (suppresseur d'explosion,...participant à la réduction du risque d'explosion).

Un exemple de fiche est donné ci-après.

Fiche N°	Localisation	Procédé	Substance
<b>Référentiel</b>			
<b>Mise en œuvre des matières inflammables :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Stockage</li> <li>- Manutention</li> <li>- Remplissage/vidange</li> <li>- Nettoyage</li> <li>- Maintenance</li> </ul>			Illustrations/schémas/photographies
<b>Mesures de prévention :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Procédé d'inertage :</li> <li>- Présence de rétention :</li> <li>- Sol en forme de pointe de diamant :</li> </ul>			Illustrations/schémas/photographies
<b>Dispositifs d'extraction d'air ou de poussières :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Constitution et disposition des moyens de ventilation/captation :               <ul style="list-style-type: none"> <li>o Ventilation naturelle :                   <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dimensions des ouvertures :</li> <li>▪ Distances entre les ouvertures :</li> <li>▪ Ouvertures implantées sur des murs opposés :</li> </ul> </li> <li>o Ventilation forcée :                   <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ventilation de secours :</li> <li>▪ Associé à un groupe électrogène :</li> <li>▪ Disponibilité retenue :</li> </ul> </li> <li>o Facteur (f) retenu :</li> <li>o Implantation du rejet :</li> </ul> </li> <li>- Débit d'air extrait/neuf :</li> </ul>			Illustrations/schémas/photographies
<b>Dispositifs de sécurité :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Système de détection de gaz/vapeur :</li> <li>- Dispositif de protection contre les explosions :               <ul style="list-style-type: none"> <li>o Suppresseur</li> <li>o Event d'explosion</li> <li>o Vanne à fermeture rapide</li> <li>o Clapet anti-retour</li> <li>o Soupape</li> </ul> </li> </ul>			Illustrations/schémas/photographies



Un tableau permet de rendre compte des calculs de dilution réalisés, confère la norme 60079-10-1, et défini les typologies et étendues (et formes) engendrées pour chaque source de dégagement identifiée.

Fiche N°			Localisation		Procédé		Substance			
Dégagement			Ventilation et Dilution			Classement des zones ATEX				
Source de dégagement	G/D	Degré de Dgt. C – 1er – 2nd	Type de ventilation A-N-NA	Degré de dilution	Disponibilité	Zone G : 0,1 ou 2 D : 20, 21 ou 22	Forme et étendue	Gpe de Gaz ou de poussières	Classe de température	Commentaires
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

- Description de la source de dégagement
- G** : Dégagement de gaz, vapeurs, brouillards. **D** : Dégagement de poussières (dust)
- Degré de dégagement : **C** (degré continu), **1er** (degré premier), **2nd** (degré second)
- Type de ventilation : **A** : Artificielle / **N** : Naturelle / **NA** : Non Applicable
- Degré de dilution (non applicable pour les poussières) : **Élevé, Moyen ou Faible**
- Disponibilité de ventilation (non applicable pour les poussières) : **Bonne, Assez Bonne ou Médiocre**
- Niveau de zone : **0, 1 ou 2** pour les gaz / **20, 21 ou 22** pour les poussières, **HZ** pour « zone dangereuse non classée » (emplacement non classé au sens de la réglementation ATEX)
- Étendue de la zone dangereuse : Description du volume de la zone ATEX
- Groupe de gaz : **IIA, IIB ou IIC** (gaz, vapeurs). Groupes de poussières : **IIIA, IIIB ou IIIC**
- Classe de température (T1 : 450°C / T2 : 300°C / T3 : 200°C / T4 : 135°C / T5 : 100°C / T6 : 85°C ou température en °C pour les poussières)
- Observations.

#### 5.4 Fiche de détermination des zones ATEX :

Fiche N°	1	Localisation	Extérieur + cellule 1	Procédé	Alimentation en combustible pour essais moteurs	Substance	Hydrogène
Référentiel	NF EN 60079-10-1 : 2016						
<p><b>Mise en œuvre des matières inflammables :</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Stockage : 6 cadres de 18 bouteilles = 88 kg d'hydrogène stocké</li><li>- Manutention : 1 rotation de cadres par semaine, nécessitant une purge du circuit (sortie de purge à l'extérieur)</li><li>- Stockage en plein air<ul style="list-style-type: none"><li>o Bouteilles stockées au sol : pression à l'intérieur des bouteilles 200 barg</li><li>o Panoplie de détente 200 barg =&gt; 80 barg à l'extérieur</li></ul></li><li>- Arrivée tuyauterie dans la cellule 1<ul style="list-style-type: none"><li>o Raccords soudés sur tout le tracé entre panoplie de détente à l'extérieur et l'arrivée dans la cellule</li><li>o Dimension de la cellule 1 : 4.25 m x 4.9 m x hauteur de 2.5 m sous dalle béton (pas de faux plafond) = 52 m3</li><li>o Diamètre de la canalisation : &lt; 50 mm</li><li>o Pression du gaz dans la canalisation : <b>80 barg</b> puis détente à <b>40 barg</b></li><li>o Type de raccords : les raccords sur la tuyauterie d'alimentation du moteur dans la cellule d'essais seront de type vissé « Swagelock ». La section de fuite prise en compte dans notre analyse est de <b>0.025 mm²</b> d'après le tableau B.1 de la norme NF EN 60079-10-1.</li><li>o L'inventaire total en hydrogène dans la cellule est d'environ <b>15 litres</b> à 80 bars (dont 13 litres dans le réservoir du débitmètre hydrogène).</li></ul></li></ul>							
<p><b>Mesures de prévention :</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Procédure de purge et débranchement des bouteilles lors des phases d'arrêt de l'activité (1 semaine à Noël et 3 semaines l'été)</li><li>- Aucun obstacle au niveau du plafond où l'hydrogène pourrait s'accumuler d'un côté ou de l'autre.</li></ul>							

Fiche N°	1	Localisation	Extérieur + cellule 1	Procédé	Alimentation en combustible pour essais moteurs	Substance	Hydrogène
Référentiel	NF EN 60079-10-1 : 2016						
<p><b>Dispositifs d'extraction d'air ou de poussières :</b></p> <p><b>Dans la cellule :</b></p> <p>La ventilation prévue pour la cellule est la suivante :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Arrivée d'air par le plafond : air soufflé 18 000 m3/h (10 mbar de dépression max)</li><li>- 5000 m3/h pour les hottes qui rejette dans la gaine existante sur la paroi du même côté que le débitmètre</li><li>- Point d'extraction plafond pour renouvellement global de la cabine : entre 5000 et 14 500 m3/h (<b>à l'arrêt en cas de fonctionnement d'urgence</b>)</li><li>- Hotte d'aspiration au-dessus des points de dégagement :<ul style="list-style-type: none"><li>o au niveau du moteur =&gt; 250 m3/h sur hotte moteur =&gt; Dimension 1400x1200 d'où vitesse moyenne de <b>0.04 m/s</b></li><li>o au niveau du débitmètre + vannes de sécurité =&gt; 250 m3/h sur hotte débitmètre =&gt; Dimension 400x2000 d'où vitesse moyenne de <b>0.09 m/s</b></li><li>o <b>Les 3 points d'extraction sont situés en point haut de la cellule (deux hottes + au niveau du plafond). Ces 3 points totalisent un débit d'extraction de 2800 m3/h soit 0.77 m3/s)</b></li></ul></li></ul> <p><b>La ventilation sera contrôlée par un moyen technique (capteur de delta P dans la gaine) pour alerter et entraîner la fermeture des vannes d'arrivées gaz en cas de perte partielle ou totale de la ventilation.</b> La disponibilité de la ventilation artificielle de la cellule sera donc considérée comme <b>Bonne</b> selon les critères de la norme 60079-10-1 : 2016.</p> <p>Le facteur (f) d'efficacité de la ventilation considérée est pris égal à 3 (1 pour un mélange uniforme et 5 pour un mélange très inefficace).</p> <p><b>A l'extérieur :</b></p> <p>La vitesse de ventilation considérée dans nos calculs est de <b>0.5 m/s</b> d'après tableau C1 de la norme NF EN 60079-10-1 : 2016 et pour un gaz plus léger que l'air, et un emplacement non obstrué à moins de 2 m du sol.</p> <p>La disponibilité de la ventilation naturelle à l'extérieur est qualifiée de <b>bonne</b> selon les critères de la norme.</p>							

Fiche N°	1	Localisation	Extérieur + cellule 1	Procédé	Alimentation en combustible pour essais moteurs	Substance	Hydrogène
Référentiel NF EN 60079-10-1 : 2016							
<b>Dispositifs de sécurité :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Soupape de sécurité à l'extérieur en cas de défaillance du détendeur</li> <li>- Fermeture de l'électrovanne de sécurité en cas de :               <ul style="list-style-type: none"> <li>o Détection H2</li> <li>o Arrêt d'urgence opérateur</li> </ul> </li> <li>- Système de détection de gaz/vapeur :               <ul style="list-style-type: none"> <li>o Détecteur H2 dans la gaine d'extraction des gaz d'échappement + au plafond de la cellule proche de la bouche d'extraction + dans les 2 hottes d'aspiration</li> <li>o Détecteurs certifiés ATEX II 2 G IIC T1</li> <li>o Les détecteurs resteront en service même en cas de perte électrique ou de perte de la ventilation</li> <li>o 1er seuil : 10% de la LIE H2                   <ul style="list-style-type: none"> <li>o Déclenchement d'une alerte sonore et visuelle</li> <li>o Mise à disposition d'un contact pour le système d'acquisition</li> <li>o Fermeture des vannes d'alimentation H2 et ouverture de la vanne d'évent générale</li> </ul> </li> <li>o 2ème seuil : 25% de la LIE H2                   <ul style="list-style-type: none"> <li>o Toutes actions identiques seuil 1</li> <li>o Coupure de toute l'électricité du banc excepté ventilateur d'extraction échappement et système de détection gaz</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>- Dispositif de protection contre les explosions :               <ul style="list-style-type: none"> <li>o Pas d'évent d'explosion</li> </ul> </li> </ul>							

Dégagement			Ventilation et Dilution			Classement des zones ATEX				
Source de dégagement	G/D	Degré de Dgt. C – 1er – 2nd	Type de ventilation A-N-NA	Degré de dilution	Disponibilité	Zone G : 0,1 ou 2 D : 20, 21 ou 22	Forme et étendue	Gpe de Gaz ou de poussières	Classe de température	Commentaires
Fuite sur robinet bouteilles stockées en extérieur	G	2nd	N	Moyenne	Bonne	2	1 m autour des bouteilles	IIC	T1	<b>Pression : 200 barg</b> Tamb Section de fuite : 0.025 mm <sup>2</sup> Vitesse d'air au niveau du dégagement : 0.5 m/s Etendue selon abaque de la norme NF EN 60079-10-1 et conforme aux préconisations du guide SUVAPRO
Fuite sur panoplie de détente à l'extérieur	G	2nd	N	Elevée	Bonne	ND	/	/	/	<b>Pression : 80 barg</b> Tamb Section de fuite : 0.025 mm <sup>2</sup> Vitesse d'air au niveau du dégagement : 0.5 m/s
Dégagement depuis évent de purge bouteille lors du remplacement des cadres (1 fois par semaine)	G	1er	N	Moyenne	Bonne	1	1 m autour de l'évent de purge à l'extérieur du bâtiment	IIC	T1	

Dégagement			Ventilation et Dilution			Classement des zones ATEX				
Source de dégagement	G/D	Degré de Dgt. C – 1er – 2nd	Type de ventilation A-N-NA	Degré de dilution	Disponibilité	Zone G : 0,1 ou 2 D : 20, 21 ou 22	Forme et étendue	Gpe de Gaz ou de poussières	Classe de température	Commentaires
Fuites sur vannes sur arrivée dans cellule avant détente	G	2nd	A	Moyenne	Bonne	2	80 cm autour des vannes ou de la vanne jusqu'à la hotte d'aspiration	IIC	T1	<b>Pression : 80 barg</b> Tamb Section de fuite : 0.025 mm <sup>2</sup> Vitesse d'air au niveau du dégagement : 0.09 m/s <b>Déclassement si vitesse de ventilation de 0.4 m/s minimum</b>  <b>Etendue estimée selon abaque de la norme pour type de dégagement diffusif (impact sur des surfaces proches)</b>
Fuite sur connexion entrée débitmètre	G	2nd	A	Moyenne	Bonne	2	80 cm autour des connexions ou de la connexion jusqu'à la hotte d'aspiration	IIC	T1	<b>Pression : 80 barg</b> Tamb Section de fuite : 0.025 mm <sup>2</sup> Vitesse d'air au niveau du dégagement : 0.09 m/s Coefficient de perte de charge : 0.75 Température du gaz : 20°C Rapport des chaleurs spécifiques : 1.4  <b>Déclassement si vitesse de ventilation de 0.4 m/s minimum</b>

Dégagement			Ventilation et Dilution			Classement des zones ATEX				
Source de dégagement	G/D	Degré de Dgt. C – 1er – 2nd	Type de ventilation A-N-NA	Degré de dilution	Disponibilité	Zone G : 0,1 ou 2 D : 20, 21 ou 22	Forme et étendue	Gpe de Gaz ou de poussières	Classe de température	Commentaires
Fuite sur connexion sortie débitmètre	G	2nd	A	Moyenne	Bonne	2	60 cm autour des connexions ou de la connexion jusqu'à la hotte d'aspiration	IIC	T1	<b>Pression : 40 barg</b> Tamb Section de fuite : 0.025 mm <sup>2</sup> Vitesse d'air au niveau du dégagement : 0.09 m/s <b>Déclassement si vitesse de ventilation de 0.2 m/s minimum</b>
Dégagement depuis évent de purge circuit H2 essai (2 fois par jour – évent situé à l'extérieur)	G	1er	N	Moyenne	Bonne	1	1 m autour de l'évent de purge à l'extérieur du bâtiment	IIC	T1	
Dégagement depuis la soupape de sécurité à l'extérieur du bâtiment- défaillance détendeur	G	2nd	N	Moyenne	Bonne	2	2 m autour de la sortie soupape à l'extérieur du bâtiment	IIC	T1	
Fuite sur connexion flexible au moteur	G	2nd	A	Moyenne	Bonne	2	60 cm autour des connexions ou de la connexion jusqu'à la hotte d'aspiration	IIC	T1	<b>Pression : 40 barg</b> Tamb Section de fuite : 0.025 mm <sup>2</sup> Vitesse d'air au niveau du dégagement : 0.04 m/s <b>Déclassement si vitesse de ventilation de 0.2 m/s minimum</b>



Dégagement			Ventilation et Dilution			Classement des zones ATEX				
Source de dégagement	G/D	Degré de Dgt. C – 1er – 2nd	Type de ventilation A-N-NA	Degré de dilution	Disponibilité	Zone G : 0,1 ou 2 D : 20, 21 ou 22	Forme et étendue	Gpe de Gaz ou de poussières	Classe de température	Commentaires
Mauvaise combustion du moteur, rejet d'H2 dans les gaz d'échappements	G	2nd	A	Moyen	Bonne	2	Intérieur du conduit d'extraction + 1 m autour de la sortie	IIC	T1	T° < 200°C / Patm Débit des gaz d'échappements : 900 kg/h Rejet de H2 non détectable via les rendements de combustion Débit dans la gaine d'extraction gaz d'échappement : 5000 m3/h Hypothèse DN 500 => vitesse d'air : 7 m/s
Mauvaise purge des circuits – bouteilles fermées - présence de gaz résiduel dans le circuit  Fuite H2 dans la cabine hors des heures de présence humaine – ventilation à l'arrêt	G	/	/	/	/	/	/	/	/	Situation possible selon deux configurations : hors phase d'essais et période d'arrêt total d'activité (1 semaine Noël + 3 semaines l'été)  => 15 litres dans la cellule + 0.75 litres dans la ligne entre stockage et cellule = 15.75 litres d'H2 dans 52 m3 de volume cellule = 0.016 m3 dans 52 m3 = 0.02% << LIE de 4 % vol  => Pas d'ATEX possible dans l'ensemble du volume de la cellule => Mauvaise purge + Fuite sur raccords = double défaillance => non pris en compte comme scénario ATEX

## 5.5 Conclusion sur le zonage ATEX

La présente étude a permis de préconiser les recommandations de classement des zones à risque d'explosion (zones ATEX) des procédés étudiés. Ce zonage permet de préciser les sources de dégagement et l'étendue des zones.

Pour se conformer aux exigences de la réglementation ATEX, il convient de réaliser un audit d'adéquation des équipements en zone ATEX afin d'identifier les sources potentielles d'inflammation présentes au sein desdites ATEX.

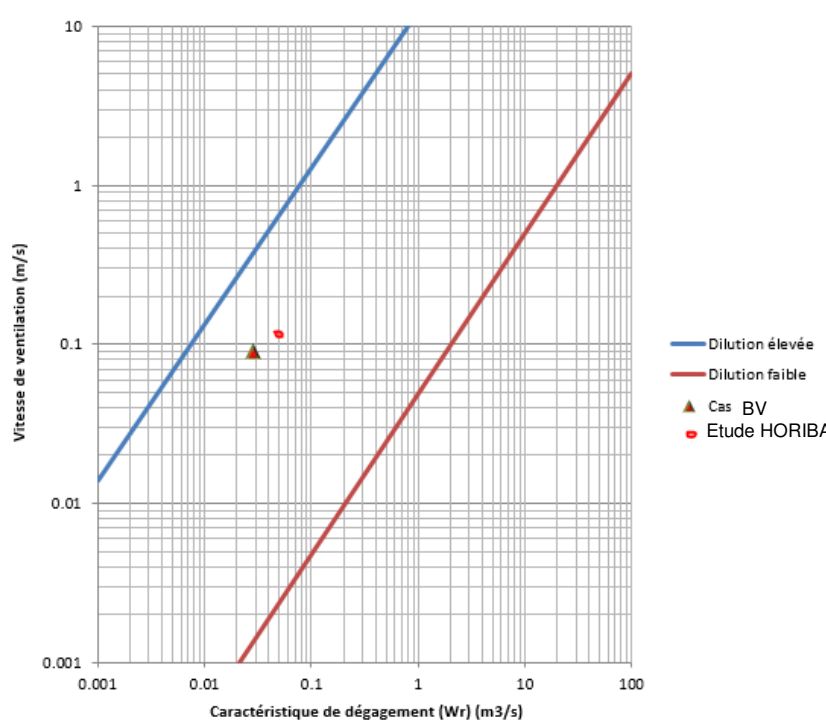
Enfin, le Document Relatif à la Protection Contre les Explosions (DRPCE) du site devra être réalisé (ou mis à jour). Il comprendra notamment les résultats du zonage ATEX issue de cette étude, ainsi qu'une analyse des risques d'explosion dans les zones ATEX identifiées.

Compte-tenu des hypothèses prises en considération, le tableau ci-dessous récapitule les zones ATEX présentes pour lesquels l'audit d'adéquation doit être réalisé.

Localisation	Procédé	Source de dégagement	Zone G : 0, 1 ou 2 D : 20, 21 ou 22	Etendue et forme
Extérieur	Bouteilles H2	Robinet	2	1 m autour des bouteilles
Extérieur	Event de purge	Event de purge	1+2	Z1 : 1 m autour de la sortie de purge Z2 : 1 m autour de la Z1
Intérieur cellule	Alimentation gaz banc d'essai	Vannes de sécurité + connexion débitmètre arrivée	2	80 cm autour des connexions ou de la connexion jusqu'à la hotte d'aspiration  <b>Déclassement si vitesse de ventilation de 0.4 m/s minimum au niveau du dégagement</b>
Intérieur cellule	Alimentation gaz banc d'essai	Connexion débitmètre sortie	2	60 cm autour des connexions ou de la connexion jusqu'à la hotte d'aspiration  <b>Déclassement si vitesse de ventilation de 0.2 m/s minimum au niveau du dégagement</b>
Intérieur cellule	Alimentation gaz banc d'essai	Connexion flexible sur moteur	2	60 cm autour des connexions ou de la connexion jusqu'à la hotte d'aspiration  <b>Déclassement si vitesse de ventilation de 0.2 m/s minimum au niveau du dégagement</b>
Intérieur cellule	Conduit d'extraction	Mauvaise combustion – Rejet d'H2 dans les gaz de combustion	2	Intérieur du conduit d'extraction gaz d'échappement moteur + 1 m en sortie  <b>Ok Volute ventilateur certifiée zone 2 =&gt; Confirmer la certification II 3 G IIC T1</b>

## 6. Avis critique sur réponse fournisseur

L'objectif de ce chapitre est de reprendre les conclusions du rapport d'analyse du risque ATEX rédigé par HORIBA et d'émettre notre avis sur les hypothèses prises et les conclusions présentées.

Indication étude HORIBA	Commentaires BV
Pas de source de dégagement continu ou du premier degré dans le banc d'essais	OK cf. tableau de zonage Dégagement de premier degré considéré à l'extérieur du bâtiment pour les opérations de purge
Risque de dégagement second en cas de fuite sur les raccords	
Section de fuite considérée de 0.025 mm <sup>2</sup> / Pression max 80 barg => débit de fuite de 0.3 kg/s	Mêmes hypothèses cf. tableau de zonage Débit de fuite calculé de 0.34 kg/s
Vitesse de ventilation : 0.13 m/s	Mail Ecole Centrale du 24/02 : vitesses d'air de 0.04 m/s et 0.09 m/s car hottes de débit 250 m <sup>3</sup> /h
Caractéristiques de dégagement : 0.047 m <sup>3</sup> /s	Avec masse volumique du gaz : 0.08 kg/m <sup>3</sup> / LIE = 4% / Facteur de sécurité = 1 => caractéristiques de dégagement de <b>0.028 m<sup>3</sup>/s</b> => Donner les détails des hypothèses pour obtenir 0.047 m <sup>3</sup> /s
Dilution obtenue : Moyenne	Ok, dilution moyenne d'après abaque ci-dessous de la norme NF EN 60079-10-1 pour les 2 combinaisons : HORIBA : 0.047 m <sup>3</sup> /s – 0.13 m/s BV : 0.028 m <sup>3</sup> /s – 0.09 m/s 

Indication étude HORIBA	Commentaires BV
<p>Conclusion HORIBA : Dilution suffisante pour déclasser une zone à condition d'avoir une détection gaz</p>	<p>Déclassement du local <b>mais zone résiduelle de 80 cm autour du raccord (ou du raccord jusqu'à la hotte d'aspiration)</b></p> <p><b>Une dilution « Moyenne » au sens de la norme ne permet pas de déclasser totalement la zone en zone Non Dangereuse (cf. tableau de la norme en annexe 2)</b></p> <p><b>Déclassement en zone ND (taux de dilution « Elevé ») si vitesse de ventilation au niveau du dégagement augmentée à 0.4 m/s</b></p> <p>BUREAU VERITAS émet des réserves quant au déclassement sur la base de la détection gaz :</p> <p>Il est nécessaire d'assurer un degré de fiabilité élevé pour la barrière de sécurité <b>complète</b>, composée du détecteur gaz, mais également de la centrale de détection et des systèmes de coupure électrique et de coupure d'alimentation en fluide. Il faut notamment s'assurer du respect des points suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Efficacité</b> : placer le détecteur au niveau du point de dégagement (OK au niveau des hottes) + calibrer les seuils vis-à-vis de la LIE du fluide (OK) ;</li> <li>- <b>Temps de réponse</b> : s'assurer d'un temps de réponse inférieur à 1 seconde entre la fuite et la coupure électrique (à confirmer)</li> <li>- <b>Niveau de confiance</b> : mettre en œuvre des équipements (détecteurs, centrale de transmission, organes de coupure) de niveau de SIL 1 minimum,</li> <li>- <b>Test / Maintenabilité</b> : mettre en place des tests réguliers de la barrière complète, et un programme d'étalonnage ;</li> <li>- <b>Gestion des défauts</b> : Assurer une mesure de sécurité en cas de défaut du détecteur (coupure alimentation gaz inflammable et coupure électrique de la cellule pour assurer la suppression de toute source d'inflammation en cas de défaut détecteur).</li> </ul> <p><b>De plus, les détecteurs étant situés au niveau de la hotte, les zones ATEX résiduelles subsistent localement au niveau des raccords.</b></p>

## 7. Conclusions générales sur la maîtrise du risque ATEX

---

Etant donné les zones résiduelles identifiées, nous considérons le risque ATEX maîtrisé sous réserve des actions suivantes :

- Augmenter la vitesse de ventilation à 0.4 m/s au niveau des hottes ;  
OU
- S'assurer de la certification ATEX des équipements présents entre les points de dégagements (connexions et vannes de sécurité) et les hottes, en catégorie II 3 G IIC T1 minimum ;  
OU
- S'assurer de leur coupure électrique en cas de détection gaz (détecteurs placés sous la hotte, au plus près du dégagement).

Etant donné la zone 2 définie dans la gaine d'extraction des gaz d'échappement en cas de rejet hydrogène, il est important de confirmer la certification II 3 G **IIC T1** pour la volute du ventilateur.

Concernant l'installation d'évent d'explosion, si la maîtrise du risque d'explosion (**probabilité d'explosion x gravité de l'explosion**) est assurée via la suppression des zones ATEX (augmentation de la ventilation) ou la suppression des sources d'inflammation dans les zones ATEX identifiées (équipements autour des vannes et des connexions), et donc la réduction au maximum de la **probabilité** de l'explosion, il n'est pas nécessaire de mettre un évent d'explosion (permet de réduire la **gravité** de l'explosion).

## Annexe 1 – Notes de calculs de dilution

### Fuite sur robinet bouteilles :

Données d'entrées				
PARAMETRE	SYMBOLE	UNITE	VALEUR	COMMENTAIRE
<b>Produit</b>				
<i>Nom</i>		-	Hydrogène	
<i>Masse molaire</i>	<i>M</i>	<i>g/mol</i>	2.02	
<i>Limite Inférieure d'Explosivité</i>	<i>LIE</i>	<i>%vol</i>	4.00	
<i>Type</i>		-	Diffusif	
<b>Caractéristiques du dégagement</b>				
<i>Degré de dégagement</i>		-	Degré second	
<i>Localisation</i>		-	Extérieur	
<i>Type</i>		-	Fuite de gaz	
<i>Section de fuite</i>	<i>A</i>	<i>mm<sup>2</sup></i>	0.025	
<i>Pression relative</i>	<i>ΔP</i>	<i>barg</i>	200	
<i>Coefficient de perte de charge</i>	<i>Cd</i>	-	0.82	
<i>Température du gaz</i>	<i>Tg</i>	<i>°C</i>	20	
<b>Caractéristiques de la ventilation</b>				
<i>Température ambiante</i>	<i>Ta</i>	<i>°C</i>	20	
<i>Vitesse de ventilation</i>	<i>Uw</i>	<i>m/s</i>	0.5	
<i>Facteur de sécurité appliqué à la LIE</i>	<i>k</i>	-	1	

Résultats				
PARAMETRE	SYMBOLE	UNITE	VALEUR	COMMENTAIRE
Taux de dégagement	<i>Wg</i>	<i>kg/s</i>	2.50E-04	
Caractéristique de dégagement	<i>Wr</i>	<i>m3/s</i>	7.46E-02	
Degré de dilution		-	Moyenne	

Fuite sur panoplie de détente à l'extérieur :

## Données d'entrées

PARAMETRE	SYMBOLE	UNITE	VALEUR	COMMENTAIRE
<b>Produit</b>				
<i>Nom</i>		-	Hydrogène	
<i>Masse molaire</i>	<i>M</i>	<i>g/mol</i>	2.02	
<i>Limite Inférieure d'Explosivité</i>	<i>LIE</i>	<i>%vol</i>	4.00	
<i>Type</i>		-	Diffusif	
<b>Caractéristiques du dégagement</b>				
<i>Degré de dégagement</i>		-	Degré second	
<i>Localisation</i>		-	Extérieur	
<i>Type</i>		-	Fuite de gaz	
<i>Section de fuite</i>	<i>A</i>	<i>mm<sup>2</sup></i>	0.025	
<i>Pression relative</i>	<i>ΔP</i>	<i>barg</i>	80	
<i>Coefficient de perte de charge</i>	<i>Cd</i>	-	0.82	
<i>Température du gaz</i>	<i>Tg</i>	<i>°C</i>	20	
<b>Caractéristiques de la ventilation</b>				
<i>Température ambiante</i>	<i>Ta</i>	<i>°C</i>	20	
<i>Vitesse de ventilation</i>	<i>Uw</i>	<i>m/s</i>	0.5	
<i>Facteur de sécurité appliqué à la LIE</i>	<i>k</i>	-	1	

## Résultats

PARAMETRE	SYMBOLE	UNITE	VALEUR	COMMENTAIRE
Taux de dégagement	<i>Wg</i>	<i>kg/s</i>	1.01E-04	
Caractéristique de dégagement	<i>Wr</i>	<i>m3/s</i>	3.01E-02	
Degré de dilution		-	Elevée	



**Fuite sur arrivée gaz dans cellule – pression 80 barg / vitesse 0.09 m/s**
**Données d'entrées**

PARAMETRE	SYMBOLE	UNITE	VALEUR	COMMENTAIRE
<b>Produit</b>				
<i>Nom</i>		-	Hydrogène	
<i>Masse molaire</i>	<i>M</i>	<i>g/mol</i>	2.02	
<i>Limite Inférieure d'Explosivité</i>	<i>LIE</i>	<i>%vol</i>	4.00	
<i>Type</i>		-	Diffusif	
<b>Caractéristiques du dégagement</b>				
<i>Degré de dégagement</i>		-	Degré second	
<i>Localisation</i>		-	Intérieur	
<i>Type</i>		-	Fuite de gaz	
<i>Section de fuite</i>	<i>A</i>	<i>mm<sup>2</sup></i>	0.025	
<i>Pression relative</i>	$\Delta P$	<i>barg</i>	80	
<i>Coefficient de perte de charge</i>	<i>Cd</i>	-	0.75	
<i>Température du gaz</i>	<i>Tg</i>	<i>°C</i>	20	
<b>Caractéristiques de la ventilation</b>				
<i>Température ambiante</i>	<i>Ta</i>	<i>°C</i>	20	
<i>Vitesse de ventilation</i>	<i>Uw</i>	<i>m/s</i>	0.09	
<i>Débit d'air</i>	<i>Q1</i>	<i>m3/s</i>	0.777777778	
<i>Efficacité de la dilution / ventilation</i>	<i>f</i>	-	1	
<i>Facteur de sécurité appliqué à la LIE</i>	<i>k</i>	-	1	

**Résultats**

PARAMETRE	SYMBOLE	UNITE	VALEUR	COMMENTAIRE
<b>Taux de dégagement</b>	<i>Wg</i>	<i>kg/s</i>	9.46E-05	
<b>Caractéristique de dégagement</b>	<i>Wr</i>	<i>m3/s</i>	2.82E-02	
<b>Concentration critique</b>	<i>Xc</i>	<i>vol/vol</i>	2.00E-02	
<b>Concentration de fond</b>	<i>Xb</i>	<i>vol/vol</i>	1.45E-03	
<b>Degré de dilution</b>		-	<b>Moyenne</b>	

## **Annexe 2 – Méthodologie de zonage**

### **Signification des symboles utilisés**

$A_1$	surface utile de l'ouverture au vent ou de l'ouverture inférieure le cas échéant (m <sup>2</sup> );
$A_2$	surface utile de l'ouverture sous le vent ou de l'ouverture supérieure le cas échéant (m <sup>2</sup> );
$A_e$	surface utile équivalente des ouvertures au vent et sous le vent à la même hauteur (m <sup>2</sup> )
$A_e$	surface utile équivalente de l'ouverture inférieure (m <sup>2</sup> );
$C$	fréquence de renouvellement de l'air dans la pièce (s <sup>-1</sup> );
$\Delta C_p$	caractéristique de coefficient de pression du bâtiment;
$C_d$	caractéristique du coefficient de débit de grands orifices de ventilation, en entrée ou en sortie, et tenant compte des turbulences et de la viscosité (en général de 0,50 à 0,75, sans dimension);
$f$	concentration de fond moyenne $X_b$ dans la pièce divisée par la concentration au niveau de l'orifice de ventilation.
$g$	accélération due à la pesanteur (9,81 m/s <sup>2</sup> );
$H$	distance verticale entre les points médians des ouvertures inférieure et supérieure (m);
$k$	facteur de sécurité attribué à la LII;
$LII$	limite inférieure d'inflammabilité (vol/vol);
$M$	masse molaire du gaz ou de la vapeur (kg/kmol);
$p_a$	pression atmosphérique (101325 Pa);
$\Delta p$	différence de pression due aux effets du vent ou de la température (Pa);
$Q_a$	débit volumétrique de l'air (m <sup>3</sup> /s);
$Q_1$	débit volumétrique de l'air entrant dans la pièce par les ouvertures (m <sup>3</sup> /s);
$Q_g$	débit volumétrique du gaz inflammable à partir de la source (m <sup>3</sup> /s);
$Q_2 = Q_1 + Q_g$	débit volumétrique du mélange air/gaz quittant la pièce (m <sup>3</sup> /s);
$R$	constante universelle des gaz (8314 J/kmol K);
$\rho_a$	densité de l'air (kg/m <sup>3</sup> );
$\rho_g$	densité du gaz ou de la vapeur (kg/m <sup>3</sup> );
$T_a$	température ambiante absolue (K);
$T_{in}$	température intérieure (K);
$T_{out}$	température extérieure (K);
$\Delta T$	différence entre les températures intérieure et extérieure;
$uw$	vitesse du vent à une hauteur de référence spécifiée ou vitesse de ventilation aux conditions de dégagement données le cas échéant (m/s);
$V_0$	$V_0$ volume à l'étude (pièce ou bâtiment) (m <sup>3</sup> );
$W_g$	$W_g$ taux de dégagement massique de la substance inflammable (kg/s), pour les mélanges, il convient uniquement de considérer la masse totale de la substance inflammable;
$X_b$	$X_b$ concentration de fond (vol/vol).

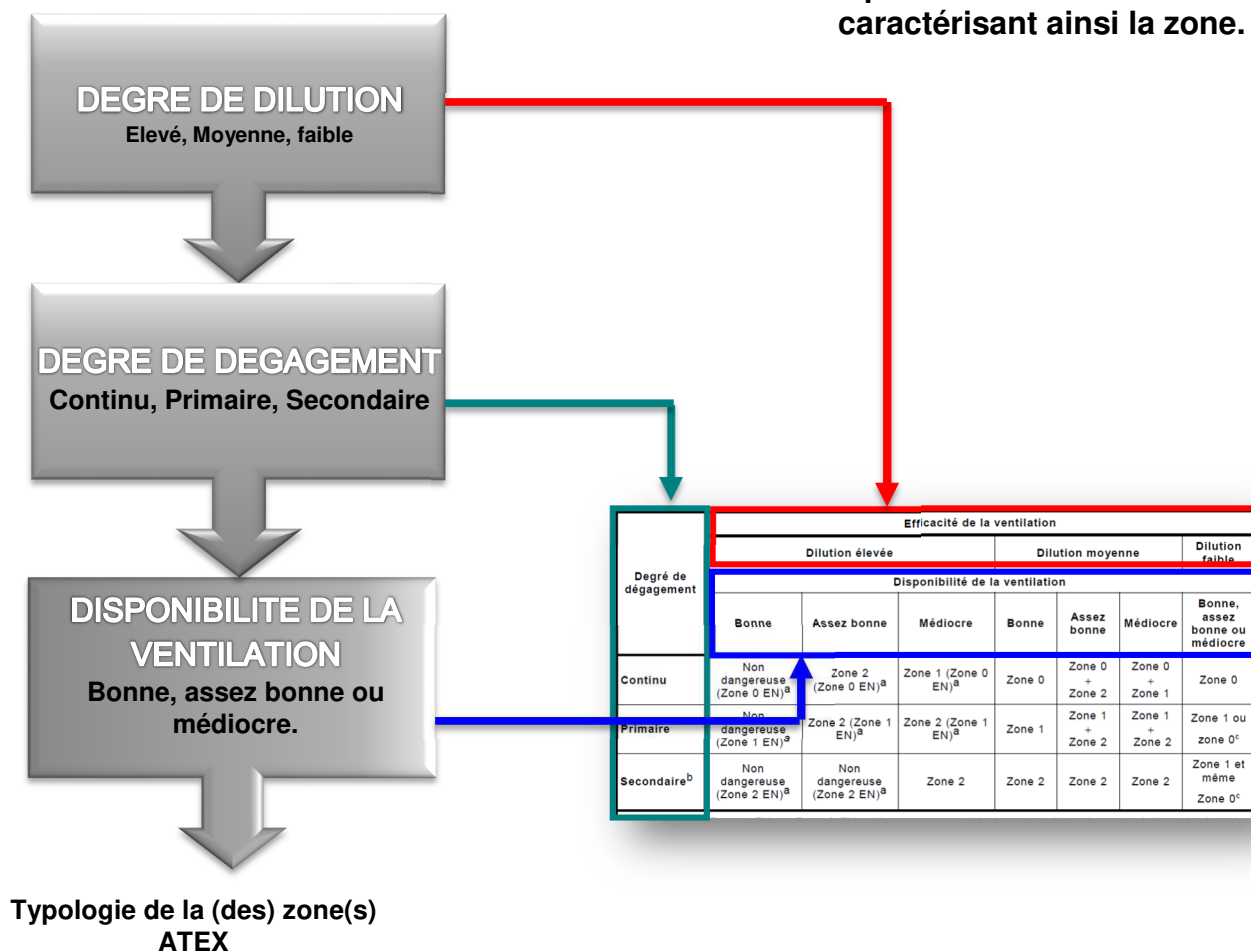
## Définition des zones ATEX selon la NF EN 60079-10-1

La méthode de classement des sources de dégagement peut être résumée comme suit:

- ✓ Identifier les sources de dégagement;
- ✓ Déterminer le taux de dégagement et le degré de dégagement pour chaque source sur la base de la fréquence et de la durée de dégagement probables;
- ✓ Évaluer les conditions de ventilation ou de dilution, ainsi que l'efficacité ;
- ✓ Déterminer le type de zone sur la base du degré de dégagement et de l'efficacité de ventilation ou de dilution;
- ✓ Déterminer l'étendue de zone.

La norme NF EN 60079-10 caractérise une zone dans laquelle peut se trouver une atmosphère explosive en prenant en compte trois critères : le **degré de dégagement**, la **disponibilité de la ventilation** et le **degré de ventilation**.

**La NF EN 60079-10-1 intègre ces trois paramètres dans un tableau, caractérisant ainsi la zone.**



## Degré de dilution

L'efficacité de la ventilation à maîtriser la dispersion et la persistance de l'atmosphère explosive dépend du degré de dilution, de la disponibilité de la ventilation et de la conception du système.

Par exemple, la ventilation peut ne pas être suffisante pour prévenir la formation d'une atmosphère explosive, mais peut être suffisante pour empêcher sa persistance.

Le degré de dilution est une mesure de l'aptitude des conditions de ventilation ou des conditions atmosphériques à assurer la dilution d'un dégagement à un niveau sûr. Par conséquent, un dégagement plus important correspond à un degré de dilution plus faible pour un ensemble donné de conditions de ventilation ou de conditions atmosphériques, un taux de ventilation plus faible correspondant à un degré de dilution moins élevé pour une quantité de dégagement donnée.

Les degrés de dilution dépendent non seulement de la ventilation, mais également de la nature et du type de dégagement de gaz prévu. Certains dégagements (à basse vitesse, par exemple) sont limitables par une ventilation améliorée avec d'autres qui le sont beaucoup moins (dégagement à grande vitesse, par exemple).

Les trois degrés de dilution suivants sont reconnus :

Degrés de Dilution	
<b>Dilution élevée :</b>	La concentration à proximité de la source de dégagement diminue rapidement et la persistance a pratiquement disparu à l'issue du dégagement;
<b>Dilution moyenne :</b>	La concentration est maîtrisée, ce qui conduit à une limite de zone stable, pendant le dégagement, et l'atmosphère explosive gazeuse ne persiste pas de façon induue à l'issue du dégagement.
<b>Dilution faible :</b>	Présence d'une concentration significative pendant le dégagement et/ou d'une persistance importante d'une atmosphère inflammable à l'issue du dégagement.

## Influence de la dilution :

L'efficacité de la ventilation ou du degré de dilution doit être prise en compte lors de l'estimation du type de classement en zone. En règle générale, un degré moyen de dilution donne lieu à des types de zones prédéterminés en fonction des types de sources de dégagement. Un degré élevé de dilution permet un classement moins sévère (zone 1 au lieu de la zone 0, zone 2 au lieu de la zone 1 et même, dans certains cas, une zone d'étendue négligeable, par exemple). Par ailleurs, un degré faible de dilution exige un classement plus sévère.

## Degré de dégagement

La probabilité de présence d'une atmosphère explosive gazeuse et, par conséquent, le type de zone dépendent principalement du degré du dégagement et de la ventilation.

### Les degrés de dégagement

**Degré « dégagement continu »** : dégagement qui est continu ou qui est supposé apparaître fréquemment ou sur de longues périodes.

- Surface d'un liquide inflammable dans un réservoir à toit fixe muni d'un évent, avec une ventilation continue vers l'atmosphère.
- Surface d'un liquide inflammable ouvert à l'atmosphère de façon permanente ou pendant de longues périodes.

**Degré « dégagement primaire »** : dégagement périodique ou occasionnel, prévisible en fonctionnement normal.

- Garnitures de pompes, compresseurs ou vannes, si un dégagement de substance inflammable est prévu pendant le fonctionnement normal.
- Points de vidange d'eau placés sur des cuves contenant des gaz ou liquides inflammables qui peuvent donner lieu à des dégagements de substance inflammable dans l'atmosphère tandis que s'effectue la vidange de l'eau pendant le fonctionnement normal.
- Points d'échantillonnage dans lesquels des dégagements de substance inflammable sont prévus dans l'atmosphère pendant le fonctionnement normal.
- Soupapes de décharge, évents et autres ouvertures où sont prévus des dégagements de substance inflammable dans l'atmosphère pendant le fonctionnement normal.

**Degré « dégagement secondaire »** :

dégagement non prévisible en fonctionnement et qui, s'il se produit néanmoins, le fera avec une probabilité faible et sur de courtes durées

- Garnitures de pompes, compresseurs et vannes, où ne sont pas prévus de dégagements de substance inflammable pendant le fonctionnement normal du matériel.
- Brides, raccords et accessoires de tuyauteries où ne sont pas prévus de dégagements de substance inflammable pendant le fonctionnement normal.
- Points d'échantillonnage où ne sont pas prévus de dégagements de substance inflammable pendant le fonctionnement normal.
- Soupapes de décharge, évents et autres ouvertures où ne sont pas prévus de dégagements de substance inflammable dans l'atmosphère pendant le fonctionnement normal.

## Disponibilité de la ventilation

La disponibilité de la ventilation a une influence sur la présence ou la formation d'une atmosphère explosive gazeuse. De ce fait, il est nécessaire de prendre en considération la disponibilité de la ventilation (aussi bien que le degré de ventilation) lors de la détermination du type de zone.

Il convient de prendre en considération trois niveaux de disponibilité de la ventilation):

### Disponibilité de la Ventilation

**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.

## Critères de ventilation artificielle :

Il convient, lorsqu'on évalue la disponibilité de la ventilation artificielle, de prendre en considération la fiabilité du matériel et la disponibilité, par exemple, de souffleries de secours. Une bonne disponibilité exige normalement, en cas de panne, un démarrage automatique de la ou des souffleries de secours.

Toutefois, si des dispositions sont prises pour empêcher le dégagement de substance inflammable lorsque la ventilation ne fonctionne plus (par fermeture automatique du processus, par exemple), il n'est pas nécessaire de modifier le classement déterminé lorsque la ventilation fonctionne, c'est-à-dire que la disponibilité peut être supposée bonne.

## Estimation de la durée exigée pour diluer un dégagement de substance inflammable

La durée théorique  $td$  exigée pour diluer la concentration de substance inflammable à partir d'une certaine concentration de fond en régime établi  $Xb$  par rapport à une concentration critique exigée  $Xcrit$ , dans un volume spécifique, peut être estimée par l'équation suivante :

$$td = \frac{1}{C} \ln \frac{Xb}{Xcrit} \text{ (s)}$$

où

- $td$  : est la durée théorique exigée pour diluer une valeur définie de concentration de substance inflammable à une autre valeur inférieure à la première valeur (s);
- $C$  : est le nombre de renouvellements de l'air par unité de temps dans le volume spécifique (s<sup>-1</sup>);
- $Xb$  : est la concentration de fond de la substance inflammable en régime établi (vol/vol);
- $Xcrit$  : est la valeur souhaitée/critique de la concentration de substance inflammable (vol/vol).

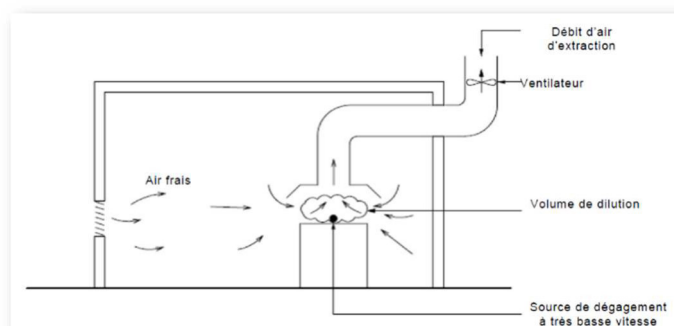
La durée théorique  $td$  calculée comme décrit ci-dessus repose sur une dilution idéale de la substance inflammable dégagée dans l'enceinte. Il convient de toujours prévoir des marges de sécurité.

## Ventilation par extraction locale

Lorsque la pratique le permet, la ventilation artificielle locale est recommandée. La ventilation artificielle locale peut améliorer le degré de dilution à proximité de la source de dégagement. Plus important encore, il convient que la ventilation artificielle locale maîtrise la circulation du gaz ou de la vapeur de manière à contenir le gaz ou la vapeur au-delà de la zone d'influence prévue du système de ventilation local. Dans ce cas, le degré de dilution autour de la source de dégagement peut être considéré comme moyen.

En règle générale, pour être efficace, il convient que la ventilation artificielle locale se trouve à proximité de la source de dégagement. La ventilation artificielle locale peut être très efficace lorsque la source de dégagement se caractérise par une très faible vitesse de dégagement.

Étant donné qu'il est nécessaire que la ventilation artificielle locale neutralise la vitesse de dégagement du gaz ou de la vapeur pour maîtriser le mouvement de ce dégagement, l'applicabilité de la ventilation artificielle locale pour les dégagements par jet est considérablement réduite sur d'autres formes de dégagement.



**Extrait de la norme NF EN 60079-10-1 - Figure C.5 – Ventilation par extraction locale**

## Exemple de définition de la typologie d'une zone ATEX

En fonction du degré de dilution, du degré de dégagement et de la disponibilité de la ventilation, pour chaque source de dégagement, la détermination de la zone est alors possible à l'aide du tableau croisé ci-dessous.

A titre d'exemple, prenons un dégagement pour lequel le calcul de la dilution permet de définir une **dilution élevée**.

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) <sup>a</sup>	Zone 2 (Zone 0 EN) <sup>a</sup>	Zone 1 (Zone 0 EN) <sup>a</sup>	Zone 0	Zone 0 + Zone 2	Zone 0 + Zone 1	Zone 0
Primaire	Non dangereuse (Zone 1 EN) <sup>a</sup>	Zone 2 (Zone 1 EN) <sup>a</sup>	Zone 2 (Zone 1 EN) <sup>a</sup>	Zone 1	Zone 1 + Zone 2	Zone 1 + Zone 2	Zone 1 ou zone 0 <sup>c</sup>
Secondaire <sup>b</sup>	Non dangereuse (Zone 2 EN) <sup>a</sup>	Non dangereuse (Zone 2 EN) <sup>a</sup>	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 1 et même Zone 0 <sup>c</sup>

Ce dégagement est engendré par une source de dégagement considérée comme étant « **secondaire** ».

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) <sup>a</sup>	Zone 2 (Zone 0 EN) <sup>a</sup>	Zone 1 (Zone 0 EN) <sup>a</sup>	Zone 0	Zone 0 + Zone 2	Zone 0 + Zone 1	Zone 0
Primaire	Non dangereuse (Zone 1 EN) <sup>a</sup>	Zone 2 (Zone 1 EN) <sup>a</sup>	Zone 2 (Zone 1 EN) <sup>a</sup>	Zone 1	Zone 1 + Zone 2	Zone 1 + Zone 2	Zone 1 ou Zone 0 <sup>c</sup>
Secondaire <sup>b</sup>	Non dangereuse (Zone 2 EN) <sup>a</sup>	Non dangereuse (Zone 2 EN) <sup>a</sup>	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 1 et même Zone 0 <sup>c</sup>

Pour cet exemple, nous considérerons que la **disponibilité de la ventilation est médiocre**, puisqu'il s'agit (par exemple) d'un extracteur mis manuellement en fonctionnement par l'opérateur et dont on ne peut pas affirmer son état de fonctionnement.

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) <sup>a</sup>	Zone 2 (Zone 0 EN) <sup>a</sup>	Zone 1 (Zone 0 EN) <sup>a</sup>	Zone 0	Zone 0 + Zone 2	Zone 0 + Zone 1	Zone 0
Primaire	Non dangereuse (Zone 1 EN) <sup>a</sup>	Zone 2 (Zone 1 EN) <sup>a</sup>	Zone 2 (Zone 1 EN) <sup>a</sup>	Zone 1	Zone 1 + Zone 2	Zone 1 + Zone 2	Zone 1 ou Zone 0 <sup>c</sup>
Secondaire <sup>b</sup>	Non dangereuse (Zone 2 EN) <sup>a</sup>	Non dangereuse (Zone 2 EN) <sup>a</sup>	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 1 et même Zone 0 <sup>c</sup>

Une fois l'analyse terminée, on détermine, la typologie de la zone...dans cet exemple, une Zone 2 est définie.



## **Annexe 3 - Exigences du code du travail au regard du risque d'explosion**

### **Quatrième partie, livre II, titre II, Chapitre VII, section 6**

**Article R4227-42** Les dispositions de la présente section ne s'appliquent pas aux lieux ou activités suivants :

- 1° Zones servant directement au traitement médical de patients et pendant celui-ci ;
- 2° Utilisation des appareils à gaz ;
- 3° Fabrication, maniement, utilisation, stockage et transport d'explosifs et de substances chimiques instables.

**Article R4227-43** Est une atmosphère explosive, au sens de la présente section, un mélange avec l'air, dans les conditions atmosphériques, de substances inflammables sous forme de gaz, vapeurs, brouillards ou poussières, dans lequel, après inflammation, la combustion se propage à l'ensemble du mélange non brûlé.

**Article R4227-44** Afin d'assurer la prévention des explosions et la protection contre celles-ci, l'employeur prend les mesures techniques et organisationnelles appropriées au type d'exploitation sur la base des principes de prévention et dans l'ordre de priorité suivant :

- 1° Empêcher la formation d'atmosphères explosives ;
- 2° Si la nature de l'activité ne permet pas d'empêcher la formation d'atmosphères explosives, éviter leur inflammation ;
- 3° Atténuer les effets nuisibles d'une explosion pour la santé et la sécurité des travailleurs.

**Article R4227-45** Les mesures prises par l'employeur sont, au besoin, combinées et complétées avec des mesures destinées à prévenir la propagation des explosions. Elles font l'objet d'un réexamen périodique et chaque fois que se produisent des changements importants dans les conditions d'exécution du travail.

**Article R4227-46** L'employeur évalue les risques créés ou susceptibles d'être créés par des atmosphères explosives en tenant compte au moins :

- 1° De la probabilité que des atmosphères explosives puissent se présenter et persister ;
- 2° De la probabilité que des sources d'inflammation, y compris des décharges électrostatiques, puissent se présenter et devenir actives et effectives ;
- 3° Des installations, des substances et préparations utilisées, des procédés et de leurs interactions éventuelles ;
- 4° De l'étendue des conséquences prévisibles d'une explosion.

**Article R4227-47** L'évaluation des risques d'explosion est globale et, le cas échéant, combinée avec les résultats de l'évaluation des autres risques, identifiés dans chaque unité de travail de l'entreprise ou de l'établissement.

**Article R4227-48** Pour l'évaluation des risques d'explosion, il est tenu compte des emplacements qui sont ou peuvent être reliés par des ouvertures aux emplacements où des atmosphères explosives peuvent se présenter.

**Article R4227-49** Lorsque des atmosphères explosives peuvent se former en quantités susceptibles de présenter un risque pour la santé et la sécurité des travailleurs ou d'autres personnes, l'employeur prend les mesures nécessaires pour que :

- 1° Le milieu de travail permette un travail en toute sécurité ;

- 2° Une surveillance adéquate soit assurée et des moyens techniques appropriés utilisés ;
- 3° Une formation des travailleurs en matière de protection contre les explosions soit délivrée ;
- 4° Les travailleurs soient équipés, en tant que de besoin, de vêtements de travail adaptés contre les risques d'inflammation.

**Article R4227-50** L'employeur subdivise en zones les emplacements dans lesquels des atmosphères explosives peuvent se présenter et veille à ce que les prescriptions minimales visant à assurer la protection des travailleurs soient appliquées dans ces emplacements.

Des arrêtés conjoints des ministres chargés du travail et de l'agriculture déterminent les règles de classification des emplacements et les prescriptions minimales mentionnées au premier alinéa.

**Article R4227-51** Les accès des emplacements dans lesquels des atmosphères explosives peuvent se présenter en quantités susceptibles de présenter un risque pour la santé et la sécurité des travailleurs sont signalés conformément aux dispositions de l'arrêté relatif à la signalisation de santé et de sécurité au travail prévu par l'article [R. 4224-24](#).

**Article R4227-52** L'employeur établit et met à jour un document relatif à la protection contre les explosions, intégré au document unique d'évaluation des risques.

Ce document comporte les informations relatives au respect des obligations définies aux articles [R. 4227-44](#) à [R. 4227-48](#), notamment :

- 1° La détermination et l'évaluation des risques d'explosion ;
- 2° La nature des mesures prises pour assurer le respect des objectifs définis à la présente section ;
- 3° La classification en zones des emplacements dans lesquels des atmosphères explosives peuvent se présenter ;
- 4° Les emplacements auxquels s'appliquent les prescriptions minimales prévues par l'article [R. 4227-50](#) ;
- 5° Les modalités et les règles selon lesquelles les lieux et les équipements de travail, y compris les dispositifs d'alarme, sont conçus, utilisés et entretenus pour assurer la sécurité ;
- 6° Le cas échéant, la liste des travaux devant être accomplis selon les instructions écrites de l'employeur ou dont l'exécution est subordonnée à la délivrance d'une autorisation par l'employeur ou par une personne habilitée par celui-ci à cet effet ;
- 7° La nature des dispositions prises pour que l'utilisation des équipements de travail soit sûre, conformément aux dispositions prévues au livre III.

**Article R4227-53** Lorsque des travailleurs de plusieurs entreprises sont présents sur un même lieu de travail, le chef de l'entreprise utilisatrice précise dans le document relatif à la protection contre les explosions le but, les mesures et les modalités de mise en œuvre de la coordination générale des mesures de prévention qui lui incombe en application des dispositions des articles [R. 4511-5](#) à [R. 4511-8](#).

**Article R4227-54** Le document relatif à la protection contre les explosions est élaboré avant le commencement du travail et est révisé lorsque des modifications, des extensions ou des transformations notables sont apportées notamment aux lieux, aux équipements de travail ou à l'organisation du travail.



AGENCE NEODYME Breizh

34 rue Léopold Sédar Senghor  
29900 Concarneau  
02 98 90 15 49

SIÈGE SOCIAL

6 rue de la Douzillère  
37300 JOUE-LES-TOURS  
02 47 75 18 87

[www.neodyme.fr](http://www.neodyme.fr)

[neodyme@neodyme.fr](mailto:neodyme@neodyme.fr)

N° SIRET : 478 720 931 00052

TVA Intra : FR11 478 720 931

