

(ID Modèle = 454913)

Ineris - 229017 - 2794691 - v2.0

13/09/2024

**Appui à l'expertise de l'accident survenu sur
une chaufferie biomasse d'Aix-en-Provence le
29 septembre 2023**

PRÉAMBULE

Le présent document a été réalisé au titre de la mission d'appui aux pouvoirs publics confiée à l'Ineris, en vertu des dispositions de l'article R131-36 du Code de l'environnement.

La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations utilisées.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La mission ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser ce document après cette date.

Au vu de ses missions qui lui incombent, l'Ineris, n'est pas décideur. Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre des missions qui lui sont confiées, ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur dans sa prise de décision. Par conséquent, la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour chaque utilisation du document en dehors de l'objet de la mission.

Nom de la Direction en charge du rapport : DIRECTION INCENDIE, DISPERSION, EXPLOSION

Rédaction : JOUBERT Lauris

Vérification : GENTILHOMME OLIVIER; CHAUMETTE SYLVAIN

Approbation : PIQUETTE BERNARD - le 13/09/2024

Table des matières

1	Introduction	4
1.1	Déontologie.....	4
1.2	Contexte	4
2	Présentation de l'installation et du scénario retenu par le BEA-RI	5
3	Réponse de l'Ineris à la sollicitation du BEA-RI	6
4	Annexes.....	9

1 Introduction

1.1 Déontologie

L'Ineris n'a jamais réalisé d'études pour APEE. APEE est une filiale à 100 % de la société ENGIE Solutions pour laquelle l'Ineris réalise des prestations régulièrement.

Durant les 5 dernières années, la majeure partie des prestations réalisées pour ENGIE Solutions concerne des formations, des audits de renouvellement ATEX, la caractérisation de produits ainsi que l'appui dans la réalisation de guides internes. Elles n'ont pas concerné le type d'installation, objet de l'accident.

1.2 Contexte

Le 29 septembre 2023, une explosion est survenue dans la chaufferie d'Encagnane à Aix-en-Provence (13).

Le site comprend deux chaudières bois COMPTE R. d'une puissance totale de 17,8 MW. Il fournit le chauffage et l'eau chaude sanitaire à 19 000 équivalent logements, soit environ 60 000 Aixois. Un travailleur qui procédait à une opération de maintenance préventive est décédé lors de l'explosion.

À la suite de l'accident, le BEA-RI a missionné l'Ineris (cf. Annexe 1) pour :

- Déterminer les mécanismes d'explosion susceptibles de se produire compte tenu des manœuvres réalisées par les opérateurs dans les minutes qui ont précédé l'accident ;
- Identifier le phénomène le plus probable à partir des dégâts constatés et de la chronologie des événements connus, dans l'hypothèse d'une pression de rupture de la goulotte de 30 bar et de 40 bar.

2 Présentation de l'installation et du scénario retenu par le BEA-RI

L'accident s'est produit au niveau de la goulotte d'admission des plaquettes dans la chambre de combustion de la chaudière.

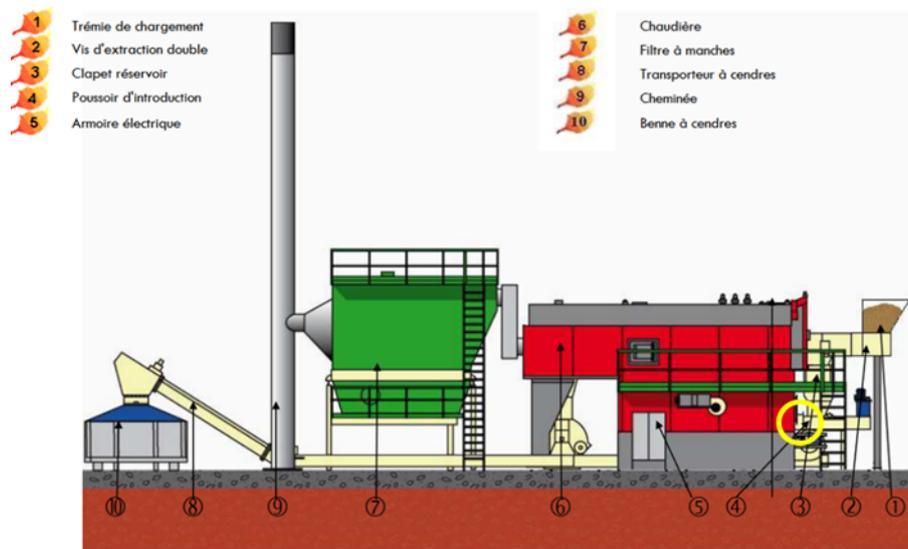


Figure 1 : Plan de la chaudière et position de la goulotte d'admission (cercle jaune)

La goulotte est une sorte de conduit de forme quasi parallélépipédique à l'intérieur de laquelle sont poussées les plaquettes de bois par un poussoir vers la chambre de combustion. Le poussoir en amont s'arrête à l'entrée de la goulotte.

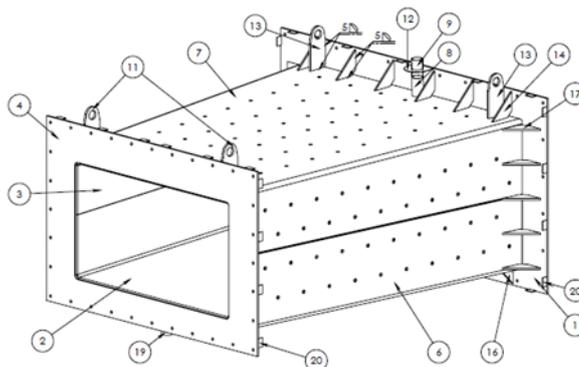


Figure 2 : Schéma de la goulotte d'admission

La goulotte a une double enveloppe dans laquelle circule l'eau de la chaudière qui arrive à environ 80°C. Avant l'accident, l'introduction de plaquettes avait été arrêtée à 8h30, ce qui signifie que la goulotte était pleine de plaquettes. Il est suspecté une fermeture du circuit d'eau de la goulotte qui aurait entraîné une montée en pression par élévation de température de l'eau dans la double enveloppe jusqu'à l'éclatement.

La quantité d'eau présente dans le circuit isolé est estimée à 400 L.

3 Réponse de l'Ineris à la sollicitation du BEA-RI

La demande du BEA-RI consiste à :

- Déterminer les mécanismes d'explosion susceptibles de se produire compte tenu des manœuvres réalisées par les opérateurs dans les minutes qui ont précédé l'accident ;
- Identifier le phénomène le plus probable à partir des dégâts constatés et de la chronologie des événements connus, dans l'hypothèse d'une pression de rupture de la goulotte de 30 bar et de 40 bar.

Dans le cadre du scénario retenu par le BEA-RI présenté au paragraphe précédent, en fonction du taux de remplissage d'eau de l'enveloppe de la goulotte au moment de son isolement, la rupture aurait pu être causée, soit par la dilatation thermique de l'eau si celle-ci remplit la totalité de l'espace, soit par un phénomène de montée en pression de l'eau à saturation si du gaz est présent.

Les effets de pression d'une rupture liée à une dilatation thermique sont généralement limités. Compte tenu des dégâts observés (cf. Figure 3) **il apparaît plus plausible que la rupture soit consécutive à la montée en pression par ébullition de l'eau jusqu'à atteinte de la pression de rupture.** Dans ce scénario, l'eau est supposée être à saturation, ce qui veut dire que la pression est directement fonction de la température de l'eau (cf. Figure 4).

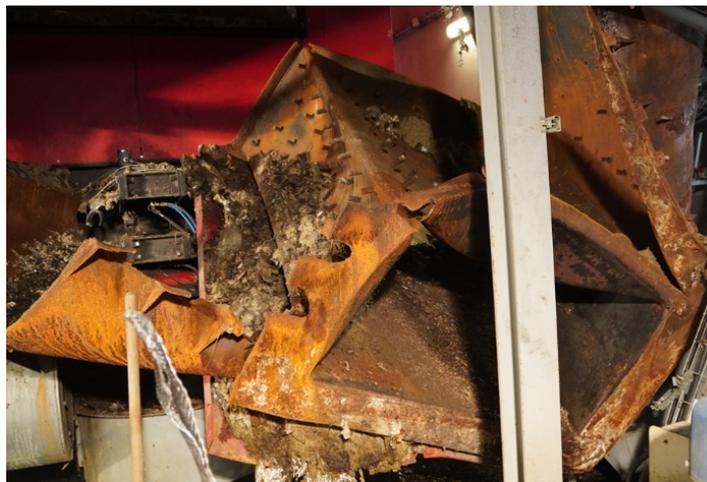


Figure 3 : Photographies des dégâts

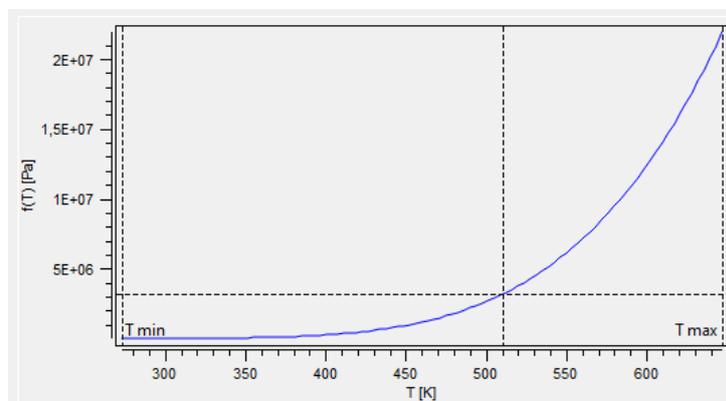


Figure 4 : Courbe de pression de vapeur saturante de l'eau en fonction de la température

Par la suite, la cinétique de ce scénario est étudiée ainsi que sa cohérence avec le déroulement de l'accident. Il est important de noter que compte tenu des incertitudes sur les données (quantité d'eau liquide présente dans la double enveloppe, quantité de plaquettes présentes dans la goulotte, pression de rupture de la goulotte, part de l'énergie de combustion servant à chauffer l'eau...) les éléments présentés, ci-après, sont des ordres de grandeur et sont à utiliser comme tels.

Les données retenues pour l'eau sont présentées dans le Tableau 1 et celles retenues pour le feu de plaquettes dans le Tableau 2. La surface de feu retenue est présentée sur la Figure 5.

Paramètre	Valeur
Volume d'eau liquide dans la double enveloppe	400 L
Température initiale de l'eau	80°C
Température de l'eau pour atteindre la pression de rupture de 30 bar	235°C
Température de l'eau pour atteindre la pression de rupture de 40 bar	251°C

Tableau 1 : Données retenues pour l'eau

Paramètre	Valeur
Volume de plaquettes pris égal à la moitié du volume libre de la goulotte	1,3 m ³
Densité	300 kg/m ³
Chaleur de combustion	12,6 MJ/kg
Vitesse de combustion	0,017 kg/m ² /s
Surface de feu pris égale au plan horizontal de la goulotte	2,1 m ²
Part de l'énergie de combustion servant à chauffer l'eau	0,3

Tableau 2 : Données retenues pour le feu de plaquettes

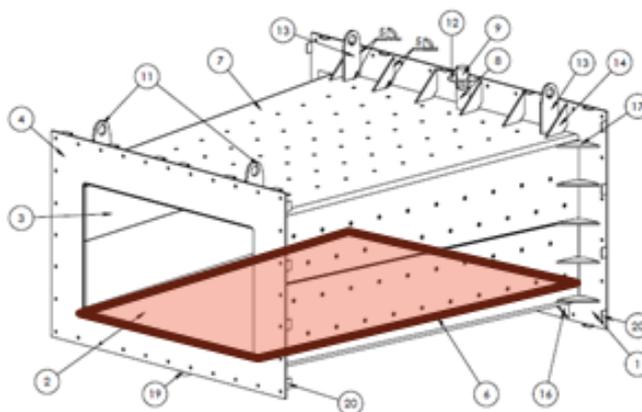


Figure 5 : Schéma de la surface de feu retenue

L'énergie nécessaire pour chauffer l'eau présente jusqu'à atteindre la température correspondant à la pression de rupture est de 258 MJ (respectivement 285 MJ) pour une pression de rupture de 30 bar (respectivement 40 bar). L'énergie totale disponible par combustion des plaquettes présentes dans la goulotte est de 4990 MJ. L'énergie nécessaire pour chauffer l'eau jusqu'à atteindre la rupture à 30 bar (respectivement 40 bar) représente donc 5,2 % (respectivement 5,7 %) de l'énergie totale de combustion. **L'énergie disponible est donc largement suffisante pour atteindre la rupture.**

L'évolution de la température de l'eau liquide peut être calculée par un simple bilan d'énergie (cf. Figure 6). Le temps d'atteinte de la rupture ainsi calculé est de 1 900 s (respectivement 2 100 s) pour une pression de rupture de 30 bar (respectivement 40 bar). **L'ordre de grandeur calculé est donc de 30-35 min.** L'influence de la donnée de la pression de rupture est relativement faible. Cela s'explique par la forme de la courbe de pression de vapeur saturante qui est exponentielle. Une faible augmentation de température entraîne une augmentation de plus en plus importante de pression. Les données d'entrée du calcul qui ont le plus d'influence sur le résultat et pour lesquelles l'incertitude est élevée sont la quantité d'eau liquide présente dans l'enveloppe ainsi que la part de l'énergie de combustion servant à chauffer l'eau.

Le temps d'atteinte de la rupture avec les hypothèses retenues de calcul est directement proportionnel à la quantité d'eau liquide présente. La donnée de 400 L utilisée correspond à une valeur maximale. Si cette quantité est divisée par 2, le temps d'atteinte l'est également.

Le temps d'atteinte de la rupture avec les hypothèses retenues de calcul est inversement proportionnel à la part de l'énergie de combustion servant à chauffer l'eau. Si cette part est multipliée par 2 alors le temps d'atteinte est divisée par 2. La valeur utilisée de 0,3 est une valeur correspondant à une valeur plutôt basse pour tenir compte de l'ouverture de la goulotte vers la chaudière.

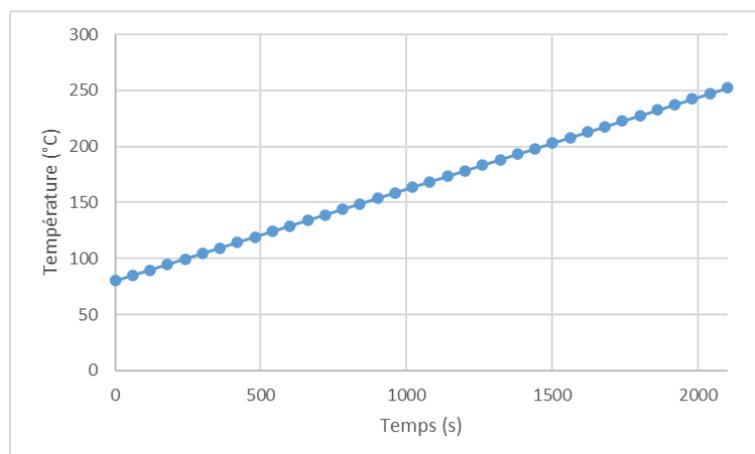


Figure 6 : Evolution de la température de l'eau calculée en fonction du temps

Finalement le temps d'atteinte de la rupture peut être estimé entre quelques minutes et 1 h environ en fonction des données et hypothèses retenues.

4 Annexes

Liste des annexes :

- Annexe 1 : Lettre de saisine du BEA-RI du 19/01/2024 (1 page).

ANNEXE 1

-

Lettre de saisine du BEA-RI
du 19/01/2024

1 page

Mission conjointe BEA-RI - Ineris

Le BEA-RI a décidé le 12/10/2023 d'ouvrir une enquête sur l'évènement survenu le 29 septembre 2023 au sein de l'entreprise APEE, site soumis à autorisation au titre de la réglementation ICPE et située à Aix en Provence (13).

Deux enquêteurs du BEA-RI se sont rendus sur site. Selon les premiers éléments de l'enquête, cet accident semble être la conséquence d'une explosion d'un composant d'une chaudière à biomasse servant à l'introduction de plaquettes bois dans le foyer.

Dans la continuité des constats dressés lors de cette visite, nous souhaiterions mobiliser l'expertise de l'Ineris, dans le cadre de sa coopération avec le BEA-RI, pour :

- Déterminer les mécanismes d'explosions susceptibles de se produire compte tenu des manœuvres réalisées par les opérateurs dans les minutes qui ont précédé l'accident,
- Identifier le phénomène le plus probable à partir des dégâts constatés et de la chronologie des événements connus, dans l'hypothèse d'une pression de rupture de la goulotte de 30 bar et de 40 bar.

Nous souhaiterions pouvoir disposer de vos conclusions au travers d'un rapport (au format pdf) selon un calendrier qui sera défini entre vos équipes et les enquêteurs en charge de l'affaire.

Fait à la Défense, le 19/01/2024

Laurent Olivé

