



**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Conseil général de l'environnement
et du développement durable
Bureau d'enquêtes et d'analyses
sur les risques industriels**



Rapport d'enquête

Sur l'endommagement de la
chaudière au sein de la sucrerie-
rhumerie SRMG située à Grand-
Bourg (971) le 14 avril 2021

Bordereau documentaire

Organisme auteur : Bureau d'enquêtes et d'analyses sur les risques industriels (BEA-RI)

Titre du document : Rapport d'enquête sur l'endommagement de la chaudière au sein de la sucrerie-rhumerie SRMG située à Grand-Bourg (971) le 14 avril 2021

N° : MTE-BEARI-2021-005

Date du rapport : 16/08/2021

Proposition de mots-clés : chaudière, bagasse, vapeur, capteur de niveau d'eau, endommagement

Avertissement

L'enquête technique faisant l'objet du présent rapport est réalisée dans le cadre de l'arrêté du 9 décembre 2020 portant création et organisation du bureau d'enquêtes et d'analyses sur les risques industriels.

Cette enquête a pour seul objet de prévenir de futurs accidents. Sans préjudice, le cas échéant, de l'enquête judiciaire qui peut être ouverte, elle consiste à collecter et analyser les informations utiles, à déterminer les circonstances et les causes certaines ou possibles de l'évènement, de l'accident ou de l'incident et, s'il y a lieu, à établir des recommandations de sécurité. Elle ne vise pas à déterminer des responsabilités.

En conséquence, l'utilisation de ce rapport à d'autres fins que la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

Au titre de ce rapport on entend par :

- Cause de l'accident : toute action ou événement de nature technique ou organisationnelle, volontaire ou involontaire, active ou passive, ayant conduit à la survenance de l'accident. Elle peut être établie par les éléments collectés lors de l'enquête, ou supposée de manière indirecte. Dans ce cas le rapport d'enquête le précise explicitement.
- Facteur contributif : élément qui, sans être déterminant, a pu jouer un rôle dans la survenance ou dans l'aggravation de l'accident.
- Enseignement de sécurité : élément de retour d'expérience tiré de l'analyse de l'évènement. Il peut s'agir de pratiques à développer car de nature à éviter ou limiter les conséquences d'un accident, ou à éviter car pouvant favoriser la survenance de l'accident ou aggraver ses conséquences.
- Recommandation de sécurité : proposition d'amélioration de la sécurité formulée par le BEA-RI, sur la base des informations rassemblées dans le cadre de l'enquête de sécurité, en vue de prévenir des accidents ou des incidents. Cette recommandation est adressée, au moment de la parution du rapport définitif, à une personne physique ou morale qui dispose de deux mois à réception, pour faire part au BEA des suites qu'elle entend y donner. La réponse est publiée sur le site du BEA-RI.

Synthèse

Le 14 avril 2021 à 18h00, dans la sucrerie SRMG située sur l'île de Marie-Galante à la Guadeloupe, l'introduction d'eau dans la chaudière BR2 vient aggraver les dégâts déjà infligés à cette chaudière par une surchauffe des tubes et du ballon supérieur par manque d'eau.

Lors du démarrage de la campagne sucrière la veille, différents incidents d'exploitation se sont succédés au sein de l'installation et ont entraîné plusieurs arrêts de la production de vapeur sur la chaudière BR2.

Lors de sa remise en chauffe à 14 h, après avoir été isolée le matin, les différents dispositifs de mesure et de régulation de la hauteur d'eau fournissent des indications contradictoires. Le manque d'eau ne sera diagnostiqué véritablement que vers 18h de manière concomitante avec l'introduction d'un faible volume d'eau. La chaudière est alors immédiatement mise à l'arrêt ; les dégâts seront évalués le lendemain.

L'enquête technique a montré que cet évènement est dû à la vétusté et au manque de fiabilité des équipements de mesure et de sécurité équipant la chaudière dont plusieurs étaient défectueux au moment de l'évènement; le manque de formation des agents et d'ergonomie des équipements a contribué au retard pris dans le diagnostic du manque d'eau.

Outre des enseignements de sécurité relatifs à la régulation de la hauteur d'eau, aux contrôles des équipements de sécurité de l'équipement, le BEA-RI recommande à l'exploitant de :

- **Dans le cas où il serait décidé de réparer la chaudière actuelle, aller au-delà des réparations indispensables et installer un système alternatif au flotteur sur la chaudière, mettre en place une redondance sur le capteur de régulation de niveau et enfin piloter l'ensemble par un système de contrôle commande reprenant les fonctions de supervision et de commande de la chaudière, et muni d'une interface de pilotage ergonomique,**
- **Mettre en place un cahier de quart permettant de tracer les consignes, les principales opérations de conduite de la chaudière (marche – arrêt, isolation...), les tests effectués et les dysfonctionnements constatés et de formaliser les informations échangées lors des changements de quart,**
- **Ajuster l'organisation du début de la campagne avec pour objectifs : un démarrage progressif de l'installation, un renforcement ponctuel des équipes de maintenance, le cas échéant en faisant appel à un prestataire extérieur, et en accompagnant dans les premiers jours les personnels saisonniers, notamment ceux qui encadrent du personnel et/ou pilotent des installations complexes,**
- **Réexaminer le plan de formation des personnels chargés de l'exploitation de la chaudière, et de s'assurer de la reconnaissance formelle de leur aptitude à cette conduite et de la confirmation périodique de leur aptitude à cette fonction.**

Sommaire

I.	Rappel sur l'enquête de sécurité.....	6
II.	Constats immédiats et engagement de l'enquête	6
	II.1 Les circonstances de l'accident	6
	II.2 Le bilan de l'accident	6
	II.3 Les mesures prises après l'accident.....	7
	II.4 L'engagement et l'organisation de l'enquête	7
III.	Contextualisation	7
	III.1 L'entreprise.....	7
	III.2 L'installation.....	7
	III.2.1 Le fonctionnement.....	7
	III.2.2 L'équipement.....	9
	III.2.2.1 Généralités.....	9
	III.2.2.2 Instrumentation-régulation.....	11
	III.2.2.3 Sécurités.....	12
IV.	Compte-rendu des investigations menées.....	13
	IV.1 Reconnaissance de terrain.....	13
	IV.2 Analyse de l'inspection des installations classées.....	15
V.	Déroulement de l'évènement.....	15
	V.1 Déclenchement de l'évènement.....	15
	V.2 L'intervention des secours publics	16
VI.	Conclusions sur le scénario de l'évènement.....	16
	VI.1 Scénario	16
	VI.2 Facteurs contributifs.....	18
	VI.2.1 Instrumentation	18
	VI.2.2 Qualification des opérateurs	18
	VI.2.3 Pilotage de l'installation.....	19
VII.	Enseignements de sécurité.....	21
	VII.1 Conception du système de régulation de la hauteur d'eau	21
	VII.2 Contrôle des équipements de sécurité.....	21
VIII.	Recommandation de sécurité à destination de l'exploitant	22
	VIII.1 Amélioration de l'instrumentation et du pilotage	22
	VIII.2 Traçabilité et organisation des changements de quarts	22
	VIII.3 Organisation du démarrage de la campagne.....	22
	VIII.4 Formation des chauffeurs	22
IX.	Annexes	23
	Annexe 1 Vue aérienne du site.....	24

Rapport d'enquête

Sur l'endommagement de la chaudière au sein de la sucrerie-rhumerie SRMG située à Grand-Bourg (971) le 14 avril 2021

I. Rappel sur l'enquête de sécurité

L'enquête technique faisant l'objet du présent rapport est réalisée dans le cadre de l'arrêté du 9 décembre 2020 portant création et organisation du bureau d'enquêtes et d'analyses sur les risques industriels. Cette enquête a pour seul objet de prévenir de futurs accidents. Sans préjudice, le cas échéant, de l'enquête judiciaire qui peut être ouverte, elle consiste à collecter et analyser les informations utiles, à déterminer les circonstances et les causes certaines ou possibles de l'évènement, de l'accident ou de l'incident et, s'il y a lieu, à établir des recommandations de sécurité. Elle ne vise pas à déterminer des responsabilités. En conséquence, l'utilisation de ce rapport à d'autres fins que la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

II. Constats immédiats et engagement de l'enquête

II.1 Les circonstances de l'accident

Le 14 avril 2021 vers 18h alors que la chaudière BR2 de la sucrerie SRMG de Marie-Galante est alimentée en combustible depuis environ 3 heures, les opérateurs se rendent compte que le niveau d'eau est très bas alors que la température est très élevée. Ils observent l'intérieur de la chaudière et aperçoivent une déformation des tubes. Ils décident alors de laisser refroidir l'installation jusqu'au lendemain matin.

Le lendemain matin, la température est descendue sous les 100°C, ils injectent de l'eau et observent des fuites importantes. Il est alors fait appel à une expertise extérieure pour évaluer l'état de la chaudière. Cette expertise a lieu le 16 avril et montre des dégâts importants. Le 17 avril, la DEAL est informée de l'incident.

II.2 Le bilan de l'accident

L'incident n'a fait aucun blessé : le bilan de l'évènement est uniquement matériel. Néanmoins compte-tenu de la gravité de l'endommagement, la remise en état de la chaudière nécessitera des travaux importants d'une durée d'au moins 10 mois rendant l'ensemble de la partie sucrerie de l'usine inutilisable pour la campagne sucrière 2021.

La partie distillerie reste elle opérationnelle pour la campagne 2021.

II.3 Les mesures prises après l'accident

À la suite de l'accident, l'installation a été arrêtée et mise en sécurité dans l'attente notamment d'inspections ultérieures. La première inspection réalisée le 16 avril, a confirmé l'ampleur des dégâts et le fait que la chaudière était inutilisable en l'état.

II.4 L'engagement et l'organisation de l'enquête

À la demande de la Ministre de la Transition Écologique, le directeur du bureau d'enquêtes et d'analyses sur les risques industriels (BEA-RI) a décidé l'ouverture d'une enquête le 29 avril 2021.

Les enquêteurs du BEA-RI se sont rendus sur le site de la sucrerie le mardi 4 mai. Ils ont rencontré les représentants de la SRMG, ainsi que les intervenants ayant expertisé la chaudière le 16 avril

Ils ont recueilli les témoignages ou déclarations écrites des acteurs impliqués dans l'évènement notamment le bureau de contrôle ayant supervisé l'épreuve de la chaudière et la DEAL Guadeloupe. Ils ont eu, consécutivement à ces entretiens et aux réunions techniques organisées par la suite, communication des pièces et documents nécessaires à leur enquête.

III. Contextualisation

III.1 L'entreprise

La société Sucreries et Rhumeries de Marie-Galante (SRMG) exploite à Grand-Bourg sur l'île de Marie-Galante de l'archipel de la Guadeloupe une usine de production de sucre de cannes et de rhum par distillation de la mélasse issue de la sucrerie. Elle a été autorisée par arrêté préfectoral du 14 juin 2005 sur la base du traitement de 110.000 tonnes de cannes pour une production d'environ 11.200 tonnes de sucre produit. En matière de rhum l'usine dispose d'un contingent défiscalisé de 7000 hectolitres d'alcool pur (HAP).

La SRMG est détenue à 53% par un grand acteur de la distribution d'alcool et à 46 % par une société civile constituée des planteurs de l'île. Elle a été créée en 1996 à la suite de la liquidation de la SEM SOSUMAG

III.2 L'installation

III.2.1 Le fonctionnement

Les activités principales de l'établissement consistent en :

- La réception et le broyage de cannes à sucre,
- L'extraction et la concentration du jus,
- L'extraction du sucre et son conditionnement,
- La fermentation de la mélasse,
- La distillation, le stockage et l'expédition du rhum industriel.

Le process sucrier démarre par une extraction mécanique du jus de canne (le vesou). L'extraction est réalisée à partir d'un shredder (ou défibreur) dont le but est de broyer les fibres de la canne. Il est suivi de 4 moulins permettant l'extraction du vesou. Les jus ainsi extraits sont ensuite filtrés, épurés à la chaux, concentrés et cristallisés. Le procédé génère, outre le sucre en sortie de cristallisation, un certain nombre de déchets ou de coproduits :

- La mélasse issue de la cristallisation (jus de canne après extraction du saccharose)
- La bagasse, résidu végétal de l'extraction mécanique du vesou. La bagasse possède un pouvoir calorifique important (7 900 kJ/kg : de l'ordre de la moitié de celui du bois sec) malgré des taux d'humidité assez importants. Elle constitue le combustible utilisé dans la chaudière alimentant en vapeur le process sucrier. Elle peut également être utilisée dans l'alimentation du bétail et fournit un support de compostage intéressant.
- Les écumes issues de l'épuration

Le process de distillation démarre par une fermentation d'environ 24 heures de la mélasse en présence de levure. À l'issue de cette fermentation on obtient un vin de canne titrant de l'ordre de 6 à 8 degrés d'alcool. Ce vin est distillé dans une ou plusieurs colonnes pour donner le rhum de coulage en sortie de colonne (titrant de l'ordre de 90°). Le procédé génère également des déchets : les vinasses chargées en matière organique (de l'ordre de 90g/l de DCO avant une éventuelle concentration) et les fonds de cuve de fermentation, elles aussi très fortement chargées en matière organique.

Ces deux process nécessitent également des utilités, notamment :

- De l'air comprimé, y compris de l'air de régulation.
- De la vapeur, car l'essentiel de l'énergie mécanique nécessaire à l'entraînement des machines de broyage est fournie par des machines à vapeur de forte puissance (à titre d'exemple : 1 MW pour le shredder). L'alimentation en vapeur de l'usine sucrière est réalisée par une chaudière à bagasse de 36 MW. La partie distillerie qui nécessite nettement moins de vapeur est alimentée par une chaudière au fuel de 2 MW.

Une vue aérienne du site figure en **annexe 1**.

La campagne sucrière correspond à la période de récolte des cannes à sucre sur l'île, qui est d'environ une vingtaine de semaines entre février et début juillet, le démarrage de la campagne étant fonction de la maturité des cannes. Pendant cette période, l'usine fonctionne en continu en 3X8. En dehors de cette période, l'usine est à l'arrêt.



Figure 1 : photo du site pendant la campagne sucrière

III.2.2 L'équipement

III.2.2.1 Généralités

L'équipement à l'origine de l'évènement est un générateur de vapeur de marque BABCOCK (40 t/heure de vapeur) timbré à 30 bars. Il a été construit en 1990, sous le régime du décret du 2 avril 1926 modifié, avant la transposition de la directive européenne 97/23/CE du 29 mai 1997 par le décret n°99-1046 du 13 décembre 1999. Il s'agit d'une chaudière dite à tubes d'eau dont le corps de chauffe est constitué de deux ballons inférieur et supérieur reliés par un faisceau de tubes vaporisateurs verticaux dans lesquels circule l'eau.



Figure 2 : photographie de l'équipement (crédits SRMG)



Figure 3 : identification de l'équipement

La chaudière est alimentée en combustible solide par de la bagasse (18t/heure) au travers d'alimentateurs. L'apport d'air de combustion est réalisé par un ventilateur en partie basse. Un second ventilateur assure le correct tirage des fumées.

Le circuit d'alimentation en eau est repris sur le schéma simplifié joint (figure 4). Il comprend :

- Une batterie d'évaporateurs qui récupère l'eau en sortie des différents consommateurs de vapeur (shredder, moulin, cuite, ...),

- Un bac tampon,
- Une pompe et une sécurité pour éviter les retours sucrés qui prélèvent dans le bac tampon pour maintenir le niveau de la bêche alimentaire,
- En parallèle une citerne et une pompe permettent également de faire les appoints de la bêche alimentaire.

Les deux chaudières, celle de la sucrerie et celle de la distillerie, sont alimentées par une pompe prélevant dans la bêche.

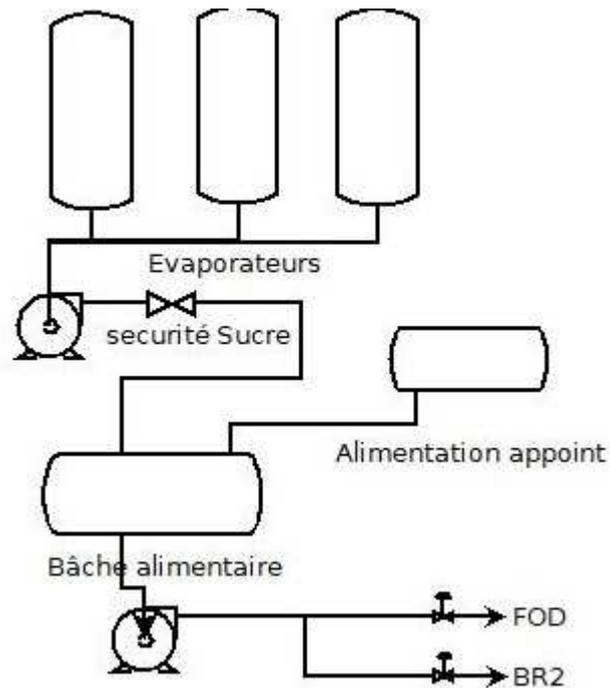


Figure 4: schéma du circuit d'alimentation en eau

La chaudière est un générateur de vapeur soumis à la réglementation relative aux équipements sous pression. Elle est exploitée en présence humaine permanente. Elle a fait l'objet d'une inspection périodique satisfaisante en 2019, conformément à la réglementation, par un organisme habilité. La dernière requalification périodique a eu lieu en 2011.

L'arrêté du 20 novembre 2017 relatif au suivi en service des équipements sous pression et des récipients à pression simples définit les notions d'inspection et de requalification périodiques :

- L'inspection périodique est l'opération de contrôle destinée à vérifier que l'état de l'équipement lui permet d'être maintenu en service avec un niveau de sécurité compatible avec les conditions d'exploitation prévisibles, et comprenant une vérification extérieure, une vérification intérieure le cas échéant, un examen des accessoires de sécurité et des investigations complémentaires en tant que de besoin.
- La requalification périodique est l'opération de contrôle destinée à montrer qu'un équipement est apte à fonctionner en sécurité en tenant compte des dégradations prévisibles jusqu'à la prochaine échéance d'une opération de contrôle ou jusqu'à sa mise hors service, à condition que l'équipement soit exploité conformément à la notice d'instructions ou à défaut au dossier d'exploitation; dans le cas du suivi en service avec plan d'inspection, la requalification

périodique permet de s'assurer que les opérations de contrôle prévues par le plan d'inspection ont été mises en œuvre. Elle intègre notamment l'analyse des résultats de tous les contrôles et inspections effectués depuis la requalification périodique précédente, ou à défaut depuis les contrôles effectués à la mise en service de l'équipement neuf ou après une modification importante. Elle permet aussi de relever les erreurs manifestes d'application des guides professionnels et cahiers techniques professionnels.

Début 2021, la chaudière avait fait l'objet de travaux importants de retubage, elle devait faire l'objet d'un contrôle après intervention et d'une requalification périodique. Les démarches étaient en cours au moment de l'accident : l'épreuve hydraulique avait été réalisée, cette épreuve ayant été satisfaisante mais le dossier de réparation était incomplet et le contrôle des dispositifs de sécurité n'avait pas encore eu lieu. Il est à noter que la saison sucrière venait tout juste de commencer et que le contrôle des dispositifs de sécurité, requis dans la cadre de cette requalification ne peut être réalisé que sur la chaudière en fonctionnement.

Des réflexions sur le devenir de l'usine sont en cours depuis plusieurs années. Cette situation semble avoir retardé les décisions de modernisation de l'installation.

III.2.2.2 Instrumentation-régulation

La régulation de la hauteur d'eau dans la chaudière est réalisée par une vanne de régulation à commande pneumatique. Cette vanne est pilotée par un régulateur (PID) de tableau de type Modumat 8000.

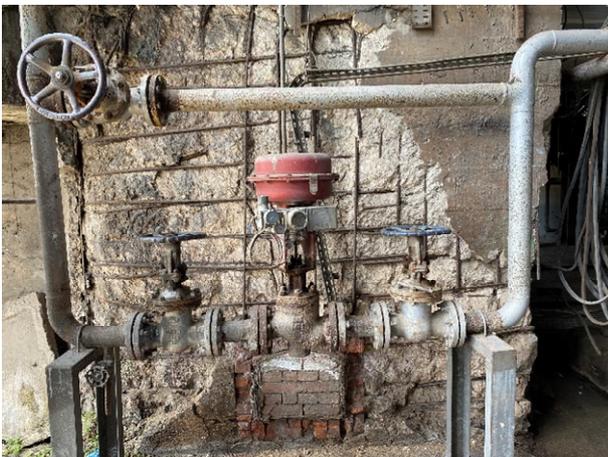


Figure 5 : vanne de régulation



Figure 6 : Modumat 8000

La mesure de hauteur d'eau est réalisée par un capteur de pression différentielle qui compare la hauteur de colonne d'eau complète de la chaudière à la hauteur réelle dans la chaudière (cf. figure 7). Ce capteur renvoie la valeur mesurée dans une boucle 4-20 mA.

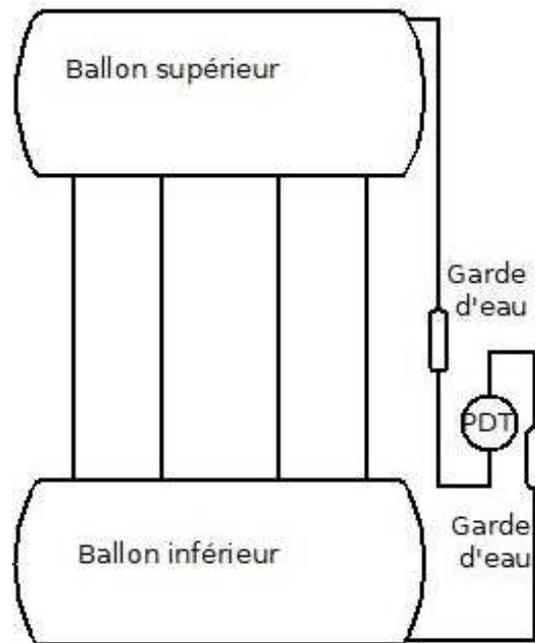


Figure 7: capteur de pression différentiel

L'alimentation en combustible est effectuée par un pilotage manuel des alimentateurs en bagasse. Le réglage de la dépression du foyer s'effectue automatiquement par régulation du ventilateur de tirage.

Postérieurement à l'installation de la chaudière, un automate a été installé, il permet la remontée vers le poste de supervision de l'usine des indications des différents capteurs sans pour autant avoir de fonction de pilotage ou de régulation.

III.2.2.3 Sécurité

Les capteurs de sécurité comportent :

- Un flotteur dans une bouteille, qui par le biais de contacts magnétiques génère des informations de niveau bas et très bas du ballon supérieur,
- Le régulateur de niveau « Modumat » génère également une information (tout ou rien) de niveau très bas du ballon indépendant du flotteur,
- Un niveau bas bêche alimentaire,
- L'information de la présence de l'air comprimé de régulation.

Chacun de ces capteurs déclenche l'arrêt automatique de la chaudière lorsque le niveau très bas du ballon supérieur est atteint. À noter la présence d'un shunt à clé sur le tableau de conduite de la chaudière qui permet de shunter un des deux niveaux très bas mais ne permet pas de shunter les deux simultanément.



Figure 8 : contacts niveau haut, bas et très bas



Figure 9 : shunt à clé

En complément un niveau à glace situé en partie supérieure de la chaudière permet un contrôle visuel de la hauteur d'eau dans le ballon supérieur.

IV. Compte-rendu des investigations menées

IV.1 Reconnaissance de terrain

Les inspecteurs du BEA-RI se sont déplacés sur site le 4 mai 2021. Ils ont procédé à leurs premiers constats en présence des personnels de SRMG et de l'entreprise ayant participé à l'entretien de l'équipement ayant subi l'endommagement. Les investigations se sont poursuivies avec les différentes parties prenantes.

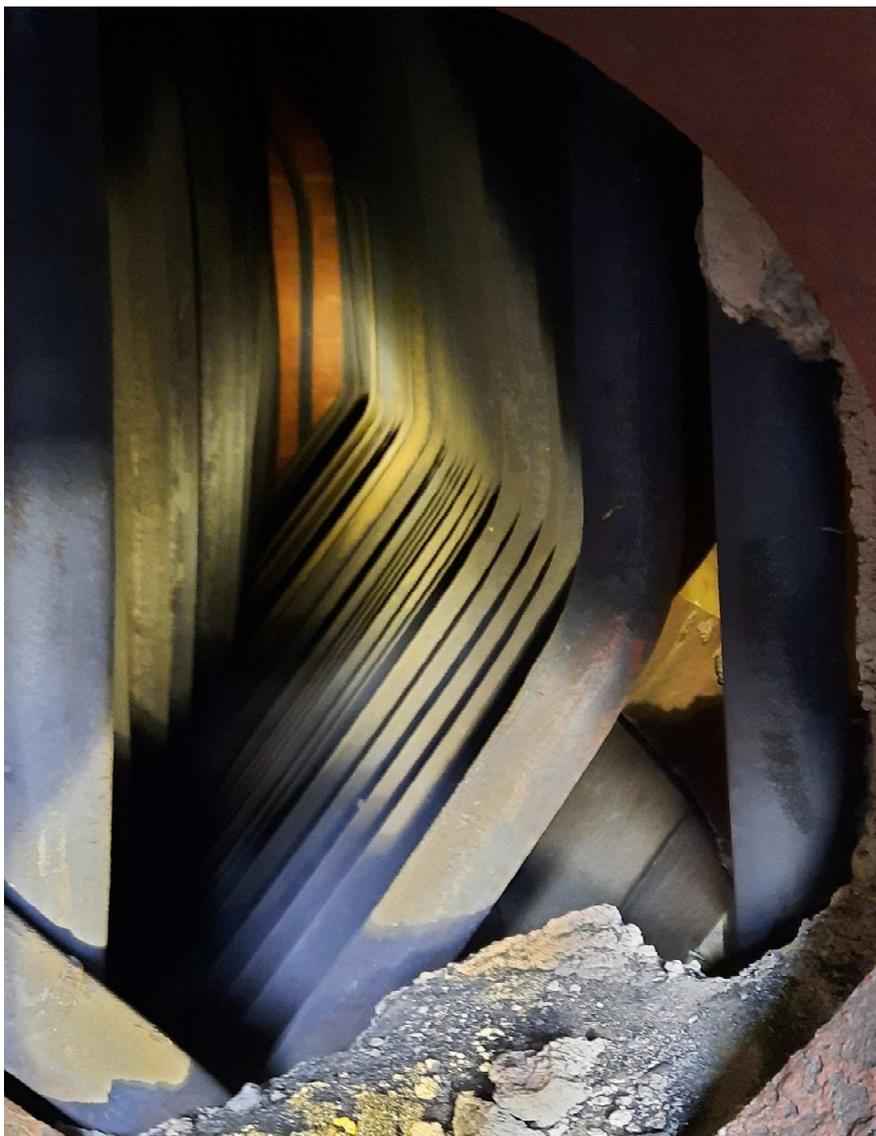


Figure 10: constat de l'endommagement des tubes



Figure 11 : constat de l'endommagement des tubes

IV.2 Analyse de l'inspection des installations classées

L'inspection des installations classées au sein de la DEAL (direction de l'environnement, de l'aménagement et du logement) de Guadeloupe a effectué avant le déplacement sur site du BEA-RI une visite d'inspection réactive sur les thèmes installations classées et appareils à pression dont les principaux constats ont été présentés aux enquêteurs.

V. Déroulement de l'évènement

V.1 Déclenchement de l'évènement

Avant le début de la campagne sucrière, la chaudière avait subi une grosse opération de maintenance (retubage). Elle a donc subi divers tests de montée en température.

Le **13 avril à 11h** elle est mise en chauffe au bois et vers **18h** le broyage de la canne débute. À **19h30** la chaudière est alimentée en bagasse. Dans la nuit du 13 au 14 avril, divers arrêts - redémarrages ont lieu au gré des incidents d'exploitation rencontrés mais la chaudière fonctionne correctement.

À **5h30**, le 14 avril, la chaudière est arrêtée pour un problème sur le ventilateur de tirage. Elle est isolée et la chauffe interrompue. À **14h** l'introduction de bagasse reprend en vue de faire remonter la pression dans la chaudière. Vers **16h** un défaut de fonctionnement des ventelles d'admission des gaz du ventilateur de tirage survient. Puis, vers **18h** la chaudière est diagnostiquée en manque d'eau. L'enregistrement des fumées montre qu'une faible quantité d'eau est injectée entre **18h et 18h30** entraînant les dommages qui seront constatés plusieurs heures après.

Les enquêteurs ont pu constater visuellement les endommagements suivants :

- Bleuissement et fortes déformations des tubes,
- Mouvements des tubes au niveau des dudgeonnages sur le ballon supérieur,
- Chute d'une partie des réfractaires.

Les expertises menées par la suite ont montré :

- Des fissures dans le ballon supérieur,
- Une perte d'étanchéité

Le bleuissement des tubes est révélateur d'une surchauffe de l'acier (de l'ordre de 800/900 °C et un refroidissement plus ou moins rapide) qui a subi une transformation métallurgique irréversible.

V.2 L'intervention des secours publics

Du fait des conséquences purement matérielles et internes à la chaudière, aucune intervention des secours extérieurs n'a été sollicitée.

VI. Conclusions sur le scénario de l'événement

VI.1 Scénario

La chaudière a subi une maintenance lourde à l'inter-campagne 2020-2021. Dans ce cadre elle a fait l'objet d'un retubage complet. Ces travaux ont fait l'objet d'une réception ainsi que d'une épreuve hydraulique satisfaisante à une pression de 36 bars (pression d'épreuve initiale 45 bars) par un organisme habilité le 11/03/2021.

À la date de l'évènement, l'inspection des accessoires de sécurité par l'organisme habilité n'avait pas eu lieu. Les sécurités ont été testées en interne le mardi 13 et le mercredi 14 avril pendant le quart s'achevant à 6 h du matin ; en fait, seuls les voyants ont été testés.

On notera que le jour de l'évènement, en matière de pilotage de la chaudière, les conditions de conduite sont dégradées :

- Le lien entre les capteurs et l'application de supervision n'est pas fonctionnel et les informations ne sont pas remontées ni enregistrées. À contrario les données d'analyse des fumées ont été enregistrées correctement,
- Un certain nombre de mesures analogiques (notamment la température des fumées) sont en défaut et ne sont pas exploitables pour la conduite de la chaudière.

Ces défauts ne seront corrigés que postérieurement à l'évènement.

La campagne sucrière a démarré le mardi 13 avril. La chaudière est mise à feu à 14h et subit une montée en température qui lui permet d'être opérationnelle vers 19h40 où débute le broyage de la canne avec notamment la mise en marche des gros consommateurs en matière de vapeur. Jusqu'à 22h (heure du changement de quart) aucun dysfonctionnement n'est signalé.

Durant la nuit, divers incidents se produisent sans que la chaudière ne soit en cause. D'après les témoignages des exploitants elle sera arrêtée (mise sous ballon c'est-à-dire isolée coté sortie vapeur et maintenue sous pression) de 3h30 à 4h30.

Vers 5h de fortes vibrations sont ressenties au niveau du ventilateur de tirage, la chaudière est alors mise sur ballon pour effectuer les réparations nécessaires. Les réparations seront achevées aux alentours du changement de quart vers 14h.

À ce moment-là, il est alors constaté :

- Que le voyant niveau bas dans la chaudière est allumé (information issue du flotteur dans la bouteille),
- Et au même moment, qu'à la lecture de l'indicateur de niveau (capteur de pression différentielle) le niveau d'eau dans la chaudière est conforme à la consigne.

La chaudière est remise en chauffe sans autre contrôle sur son niveau de remplissage ; la pression à ce stade est tombée à zéro. L'analyseur de fumées montre un fonctionnement irrégulier de 15h à 19h. Ce fonctionnement est lié en partie au dysfonctionnement des volets d'admission des gaz du ventilateur de tirage.

Vers 18h30, on constate sur l'analyse des fumées un pic de vapeur d'eau (valeur de l'ordre du double du fonctionnement normal de la chaudière). C'est également aux alentours de 18h30 que, constatant l'écart entre les valeurs fournies par les deux capteurs de niveau, un doute s'installe sur le niveau d'eau réel dans la chaudière : elle est en réalité vide.

Après contrôle sur le niveau à glace la décision de mettre la chaudière à l'arrêt est prise. Des déformations sont observées. L'étendue des dégâts sera constatée le lendemain.

Les éléments collectés par les enquêteurs et les témoignages recueillis n'ont pas permis de déterminer avec certitude les causes initiales de cet évènement. Le scénario le plus probable est l'évaporation de l'eau contenue dans la chaudière conjuguée à une défaillance du niveau assurant la régulation de niveau dans la chaudière (capteur de pression différentielle). La seconde sécurité (flotteur) aurait dû fonctionner et couper les ventilateurs de tirage et d'air primaire. Or les tests sur cette sécurité, menés après l'accident ont montré une faible fiabilité du déclenchement. Il convient également de noter que cette sécurité peut être shuntée. La perte en eau a eu lieu entre 4h du matin et 18h30 et plus vraisemblablement entre 14h et 18h30.

L'introduction d'une faible quantité d'eau (de l'ordre du m³, voire moins) a eu lieu vers 18h30. Cette heure, déterminée sur la base de l'analyse des fumées, est concomitante avec le contrôle du niveau d'eau avec le niveau à glace. L'introduction d'eau a dû être assez courte. Là aussi, les éléments recueillis et les témoignages n'ont pas permis de déterminer comment elle a eu lieu. Cette introduction d'eau a provoqué la modification de la structure métallurgique des tubes.

Il convient de préciser que même en l'absence de cette introduction d'eau, les dommages à la chaudière liés à sa montée en température auraient tout de même été significatifs (montée à une température de l'ordre de 950° et perte de la perlite sur l'acier).

VI.2 Facteurs contributifs

VI.2.1 Instrumentation

L'instrumentation de la chaudière a été conçue à la construction de la chaudière en 1990, conformément au décret du 2 avril 1926 en application lors de sa conception.

Des réflexions sur le devenir de l'usine et les orientations à prendre pour sa modernisation étaient en cours depuis plusieurs années. Cette situation semble avoir retardé les décisions de modernisation de l'installation. Une nouvelle mission d'inspection spécifique venait d'être lancée par les inspections générales au moment de l'évènement.

Néanmoins on peut constater :

- Que le niveau de verre est situé en partie supérieure de la chaudière et que son accès ainsi que son environnement de fonctionnement (température notamment) sont loin d'être optimaux. Il est de fait peu utilisé pour l'exploitation de la chaudière,
- Que les sécurités par flotteur sont peu fiables car notamment soumises à des phénomènes de coincement du flotteur et / ou d'embouage de la chambre. Les tests réalisés à l'issue de l'évènement montrent un fonctionnement aléatoire des contacts magnétiques. Les divers contacts que les enquêteurs ont pu avoir avec des professionnels du secteur ont confirmé que cette technologie est connue pour son manque de fiabilité,
- Le capteur de régulation de niveau (capteur de pression différentielle) est d'une technologie relativement fiable mais qui nécessite pour fonctionner correctement d'une part d'être isolé par une garde d'eau à une température ambiante sur ses deux entrées et d'autre part de disposer d'une colonne d'eau, reliée à la pression du ballon supérieur, déterminant la hauteur de la colonne d'eau de référence. En l'absence de ces deux conditions la valeur mesurée n'a plus de signification sans que ce soit détectable. De ce fait ce type de capteur est souvent doublé pour pouvoir pallier à d'éventuels dysfonctionnements.

La vétusté et le manque de fiabilité de l'instrumentation ont donc contribué à la survenue de l'évènement, tant par les chaînes de régulation du niveau d'eau que par les problèmes d'interprétation des valeurs incohérentes entre capteurs.

VI.2.2 Qualification des opérateurs

Du fait de la saisonnalité de l'activité sucrière et du double isolement insulaire, les conducteurs de chaudières sont soit des permanents de l'entreprise (personnels alternant entre maintenance et production par exemple) soit des saisonniers dont l'activité le reste de l'année peut être assez éloignée de celle qu'ils exercent dans l'usine. Les enquêteurs n'ont pas trouvé trace de formations suivies par les conducteurs depuis ces 10 dernières années.

Le problème du maintien de compétence est illustré par le fait qu'en fonctionnement normal seule la chaîne de régulation capteur à dépression/ Modumat est utilisée et qu'il n'est pas tenu compte du deuxième capteur. Cette situation a vraisemblablement retardé le moment où le bon diagnostic (manque d'eau dans la chaudière) a pu être posé. C'est l'intervention d'un conducteur faisant partie du personnel permanent et d'une personne de la maintenance vers 18h 30 qui a permis le bon diagnostic. Depuis le début d'après-midi, les seules personnes intervenant sur la chaudière étaient des saisonniers.

VI.2.3 Pilotage de l'installation

La chaudière est exploitée avec présence humaine permanente. Néanmoins il convient pour le conducteur de chaudière de disposer des informations minimales pour pouvoir piloter la chaudière et cela sous une forme suffisamment ergonomique.

Le jour de l'évènement :

- Certains capteurs (température des fumées notamment) ne fonctionnaient pas,
- Le dispositif de supervision était hors d'état de fonctionnement ce qui a eu pour conséquences de ne pas avoir accès à un synoptique général (cf photographies ci-dessous), et de ne pas avoir non plus l'accès à l'historique des quarts précédents.

Les enquêteurs non pas trouvé de traces d'une formalisation des passages de consignes et /ou des passages de quarts. De même il n'existe visiblement pas de traçabilité des shunts ni des tests effectués sur les sécurités ou plus généralement des opérations de conduite de la chaudière (utilisation des tubes ramoneurs / vidange, nettoyage des cendriers, etc...).

L'ensemble de ces éléments a contribué à l'évènement en privant les opérateurs d'éléments précieux permettant de diagnostiquer de manière anticipée les conditions de déclenchement de l'évènement.



Figure 12 : capteur de température non fonctionnel

VII. Enseignements de sécurité

VII.1 Conception du système de régulation de la hauteur d'eau

Conception du système de régulation de hauteur d'eau

La conception d'un système de régulation de hauteur d'eau doit comprendre un capteur de hauteur d'eau dont la fiabilité soit reconnue. La redondance de ce capteur, si possible avec un système de mesure physiquement différent, est à privilégier, mais surtout, le capteur et la chaîne de mesure doivent être en capacité de détecter une valeur erronée (valeur négative ou taux de remplissage supérieur à 1).

La régulation de hauteur devrait être reliée au système de contrôle commande afin de présenter à l'opérateur l'ensemble des éléments de conduite de la chaudière.

Enfin la chaîne de mesure doit pouvoir être reconstrôlée afin de déterminer la qualité de la mesure.

Conception du SNCC

La mise en place d'un SNCC (Système numérique de contrôle commande) doit s'accompagner d'une réflexion sur l'utilisation de ce dernier, notamment dans le pilotage de l'installation et sa conduite. Ainsi la simple récupération des données des capteurs sans exploitation des fonctions de pilotage (alimentateur, etc.) et de sécurité ne permet pas d'optimiser le fonctionnement de la chaudière et la charge de travail de l'opérateur. La présence en complément d'un écran de supervision permet de voir l'état du système, les éventuels shunts de sécurité, et de détecter plus rapidement les éventuelles incohérences de données.

VII.2 Contrôle des équipements de sécurité

En matière d'équipement de sécurité la chaudière BR2 repose sur deux dispositifs ayant une action directe sur la conduite de la chaudière (flotteur dans la bouteille et capteur de pression différentielle).

Les différences de fonctionnement (capteur tout-ou-rien d'un côté et analogique de l'autre) rendent délicates les comparaisons. Dans le cas d'un dysfonctionnement, seul le recours au niveau à glace permet de lever le doute et de déterminer le capteur en défaut. Les procédures d'exploitation de la chaudière prévoient bien la vérification de fonctionnement du flotteur toutes les 8 heures et le nettoyage du niveau à glace au moins une fois toutes les 24 heures. Rien n'est en revanche précisé sur le contrôle du capteur de pression différentielle ni sur l'inter-comparaison entre ces trois dispositifs.

Le contrôle régulier des organes de sécurité ainsi que de la cohérence avec les capteurs de régulation du process est nécessaire pour éviter la dérive des process. Ce point est d'autant plus important qu'il permet d'éviter les erreurs de représentation de l'état physique du process pouvant entraîner la prise de mauvaises décisions de la part des opérateurs.

VIII. Recommandation de sécurité à destination de l'exploitant

VIII.1 Amélioration de l'instrumentation et du pilotage

L'instrumentation et les automatismes de la chaudière datent de la conception de la chaudière. Sur le plan mécanique le dispositif de sécurité à flotteur est connu pour son manque de fiabilité. Sur le plan électrique les automatismes sont essentiellement réalisés par des chaînes à relais et des régulateurs simples.

Dans le cas où il serait décidé de réparer la chaudière actuelle, le BEA-RI recommande à l'exploitant d'aller au-delà des réparations indispensables en modernisant les dispositifs de contrôle et de sécurité et d'installer un système alternatif au flotteur sur la chaudière, de mettre en place une redondance sur le capteur de régulation de niveau et enfin de piloter l'ensemble par un système de contrôle commande reprenant les fonctions de supervision et de commande de la chaudière, et muni d'une interface de pilotage ergonomique.

VIII.2 Traçabilité et organisation des changements de quarts

Le BEA-RI recommande à l'exploitant de :

Mettre en place un cahier de quart permettant de tracer les consignes, les principales opérations de conduite de la chaudière (marche – arrêt, mise sur ballon), les tests effectués et les dysfonctionnements constatés et de formaliser les informations échangées au changement de quart.

VIII.3 Organisation du démarrage de la campagne

Le démarrage d'une campagne représente une sensibilité particulière pour toutes les industries qui ont ce mode de fonctionnement. Ce moment correspond notamment à une surcharge importante de travail pour le personnel de la maintenance qui doit faire face aux conditions particulières de démarrage et à l'ensemble des pannes qui ne pouvaient être détectées durant la période d'arrêt. Pour les équipes de production : elles doivent se réapproprier le fonctionnement d'une installation qu'elles n'ont pas pilotée depuis 6 mois.

Le BEA-RI formule la recommandation suivante à destination de l'exploitant :

Ajuster l'organisation du début de la campagne avec pour objectifs :

- **Un démarrage progressif de l'installation,**
- **Un renforcement ponctuel des équipes de maintenance, le cas échéant en faisant appel à un prestataire extérieur,**
- **Et en accompagnant dans les premiers jours les personnels saisonniers, notamment ceux qui encadrent du personnel et/ou pilotent des installations complexes.**

VIII.4 Formation des chauffeurs

Le BEA-RI recommande à l'exploitant **de réexaminer le plan de formation des personnels chargés de l'exploitation de la chaudière, et de s'assurer de la reconnaissance formelle de leur aptitude à cette conduite et de la confirmation périodique de leur aptitude à cette fonction.**

IX. Annexes

Annexe 1	Vue aérienne du site.....	24
----------	---------------------------	----

Annexe 1 Vue aérienne du site

DIAPO N°1

SA SUCRERIES ET RHUMERIE DE MARIE-GALANTE (VUE GÉNÉRALE)





**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



**Bureau d'enquêtes et d'analyses
sur les risques industriels**

MTE / CGEDD / BEA-RI
Tour Séquoïa
92055 La Défense Cedex

+33 1 40 81 21 22
bea-ri.cgedd@developpement-durable.gouv.fr

<http://www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr/bea-ri-r549.html>