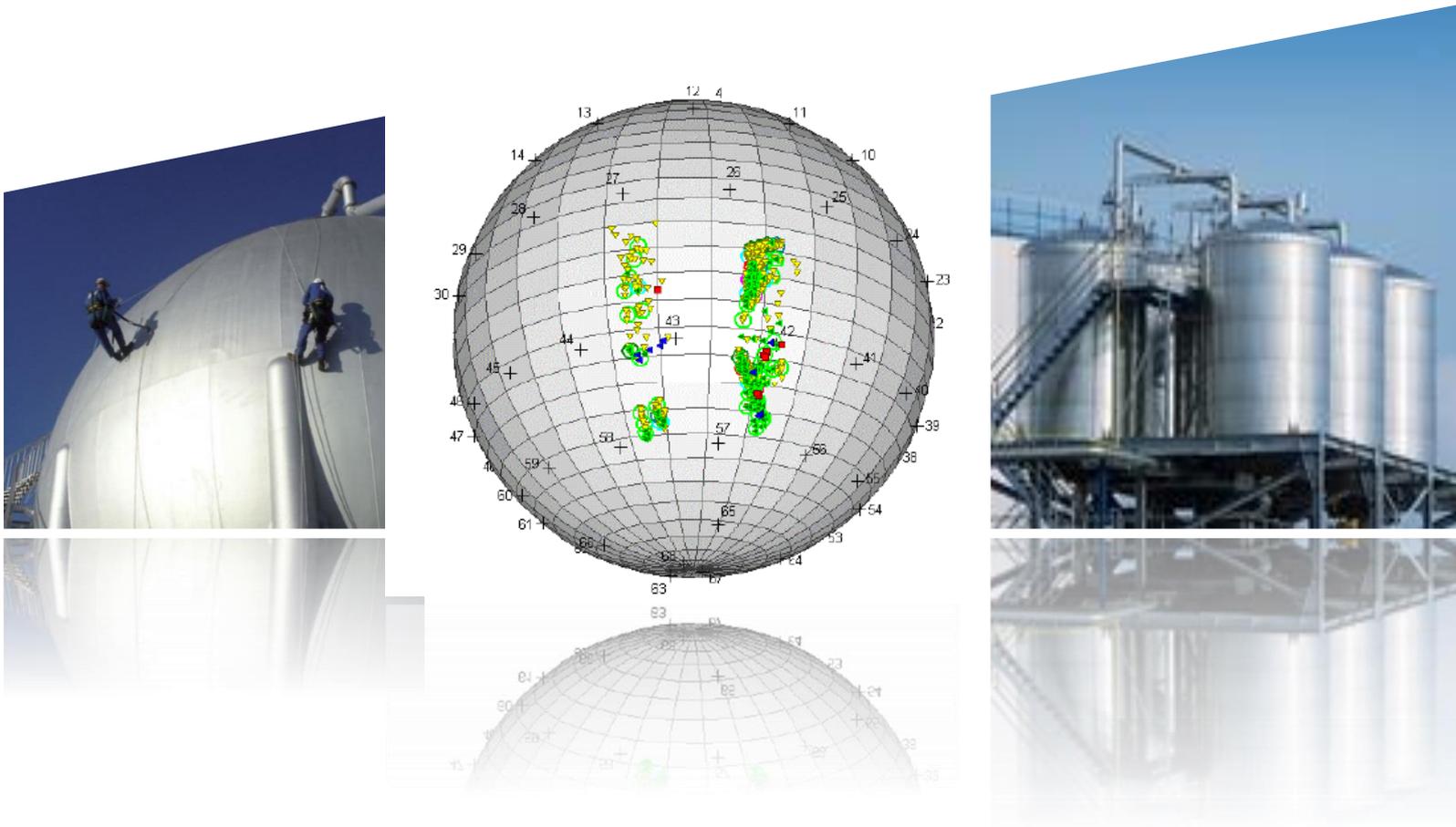


Guide des bonnes pratiques pour le contrôle par émission acoustique des Équipements Sous Pression



Guide des bonnes pratiques pour le contrôle par émission acoustique des Équipements Sous Pression

Édition 2016

"Tous droits de reproduction, de traduction pour tous pays quel que soit le support sont réservés"



MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ÉNERGIE ET DE LA MER

Direction générale de la prévention des risques

Paris, le 23 février 2016

Service des risques technologiques
Sous-direction des risques accidentels
Bureau de la sécurité des équipements à risques et des réseaux

Réf : BSERR n°16-034

Affaire suivie par : Isabelle GRIFFE
isabelle.griffe@developpement-durable.gouv.fr
Tél : 01 40 81 90 63

Objet : Nouvelle édition du guide des bonnes pratiques pour le contrôle par émission acoustique des équipements sous pression.

Monsieur le Président,

Vous m'avez transmis le guide des bonnes pratiques pour le contrôle par émission acoustique des équipements sous pression (3^{ème} édition 2016).

Cette nouvelle édition correspond à une version consolidée du guide, intégrant :

- la 2^{ème} édition approuvée par la décision ministérielle BSEI n°09-102 du 29 juin 2009,
- les nouvelles annexes relatives aux équipements sous pression en matériaux composites, aux équipements sous pression en acier inoxydable et aux échangeurs approuvées en 2013 et en 2014 par les décisions BSEI 13-309, 14-079 et 14-110,
- les fiches de modification élaborées par le groupe Groupe Emission Acoustique de l'AFIAP pour tenir compte du retour d'expérience collecté auprès des utilisateurs, qui ont été validées.

En conséquence, je n'ai pas d'objection à la mise en œuvre de cette nouvelle édition du guide.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Président, l'expression de ma considération distinguée.

Le chef du bureau de la sécurité des
équipements à risques et des réseaux

Jean Boesch



AFIAP
39-41 rue Louis Blanc
92038 Paris La Défense Cedex

www.developpement-durable.gouv.fr

92055 La Défense cedex



Prévention des risques

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE,
DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA MER,
EN CHARGE DES TECHNOLOGIES VERTES
ET DES NÉGOCIATIONS SUR LE CLIMAT

Direction générale de la prévention des risques

Décision BSEI n° 09-102 du 29 juin 2009 relative au remplacement de l'épreuve hydraulique, lors de la requalification périodique de certains équipements sous pression, par un essai sous pression de gaz contrôlé par émission acoustique

NOR : DEVP0915535S

(Texte non paru au *Journal officiel*)

Le ministre d'Etat, ministre de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat,

Vu le décret n° 99-1046 du 13 décembre 1999 relatif aux équipements sous pression, notamment son article 18 ;

Vu l'arrêté du 15 mars 2000 modifié relatif à l'exploitation des équipements sous pression, notamment son article 23 (§ 8) ;

Vu la décision BSEI n° 07-066 du 15 mars 2007 relative au remplacement du prochain renouvellement d'épreuve et de la vérification intérieure de requalification périodique de certains autoclaves par un essai sous pression avec contrôle de l'émission acoustique ;

Vu la demande de l'AFIAP en date du 17 novembre 2008 sollicitant l'approbation du document intitulé « Guide des bonnes pratiques pour le contrôle par émission acoustique – version 2 du 13 novembre 2008 » et ses annexes ;

Vu la demande de l'AFIAP en date du 10 mars 2009 sollicitant l'approbation de l'annexe 9 au « Guide des bonnes pratiques pour le contrôle par émission acoustique », intitulée « Recommandations pour l'élaboration d'une procédure applicable aux autoclaves », version 3 du 27 février 2009 ;

Vu l'avis en date du 5 juin 2009 de la Commission centrale des appareils à pression (Section permanente générale) ;

Vu le document intitulé « Guide des bonnes pratiques pour le contrôle par émission acoustique des équipements sous pression – édition 2009 – version 4.1 du 8 juin 2009 » et ses annexes, intégrant les demandes de la Commission centrale des appareils à pression, transmis le 17 juin 2009 par l'AFIAP,

Décide :

Article 1^{er}

Lors de la requalification périodique des équipements sous pression, le remplacement de l'épreuve hydraulique par un essai de mise sous pression avec contrôle par émission acoustique est admis sous réserve du respect des dispositions du « Guide des bonnes pratiques pour le contrôle par émission acoustique des équipements sous pression – édition 2009 – version 4.1 du 8 juin 2009 » et de ses annexes susvisés, dans les conditions précisées aux articles 2 et 3 ci-après.

Article 2

Les dispositions de l'article 1^{er} s'appliquent aux équipements sous pression en matériaux métalliques définis dans les annexes 3, 4, 6, 8 et 9 du guide mentionné ci-dessus, à savoir :

Annexe III. – Équipements sous pression de type « sphères » :

- contenant des fluides à l'état liquide ou gazeux, hors circulation du fluide ;
- soudés ;
- en acier non allié de limite d'élasticité inférieure ou égale à 460 N/mm² ;
- non revêtus ou revêtus intérieurement ou extérieurement, ou calorifugés, ou ignifugés ;
- aériens ou sous talus ;
- à simple paroi d'épaisseur inférieure à 100 mm et dont la température de paroi est comprise entre - 40 °C et 150 °C.

Annexe IV. – Réservoirs de stockage de gaz de pétrole liquéfiés (GPL), dits « petit vrac » :

- enterrés ;
- en acier non allié ;
- des groupes de familles G150 et G75 dont les caractéristiques sont définies dans ladite annexe.

Annexe VI. – Equipements sous pression de stockage de type « réservoirs cylindriques » :

- contenant des fluides à l'état liquide ou gazeux, hors circulation du fluide ;
- soudés ;
- en acier non allié de limite d'élasticité inférieure ou égale à 460 N/mm² ;
- non revêtus ou revêtus intérieurement ou extérieurement, ou calorifugés, ou ignifugés ;
- aériens, ou sous talus, ou enterrés ;
- monocouche (les équipements sous pression multicouches sont exclus) ;
- à simple paroi d'épaisseur inférieure à 100 mm et dont la température de paroi est comprise entre - 40 °C et 150 °C.

Annexe VIII. – Réacteurs dans lesquels se produisent des réactions chimiques :

- contenant ou non des internes et des charges catalytiques ;
- en service ou à l'arrêt ;
- en acier non ou faiblement allié ;
- à simple paroi ;
- non revêtus, ou revêtus intérieurement ou extérieurement ;
- aériens ;
- calorifugés, ignifugés, ou non ;
- dont la température de paroi est comprise entre 0 °C et 550 °C ;
- contenant des fluides à l'état liquide ou gazeux.

Annexe IX. – Equipements sous pression de type autoclave, hyperclave ou four constitués d'un corps et de 2 fonds à couverture amovible à fermeture rapide (CAFR) ou vissés ou boulonnés ou soudés, dont l'un est généralement fixé au corps :

- contenant des fluides à l'état gazeux (air, azote, vapeur d'eau...) ou liquide ;
- en acier non ou faiblement allié ;
- calorifugés, ignifugés ou non ;
- pour une pression maximale de service comprise entre 0,5 et 5 000 bars ;
- pour une température maximale de service comprise entre la température ambiante et 1 000 °C ;
- dont le volume est compris entre 0,1 et 2 000 m³.

L'application des dispositions de l'article 1^{er} à d'autres équipements sous pression fait l'objet de décisions spécifiques complémentaires.

Article 3

Tout exploitant souhaitant bénéficier des dispositions de la présente décision doit déposer auprès de la direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement (DRIRE) ou de la direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) territorialement compétente une demande accompagnée d'un dossier établi selon le guide cité à l'article 1^{er}.

Cette demande doit intégrer pour chaque exploitant la liste exhaustive des appareils concernés.

Toutefois, lorsque cette demande concerne une famille de plusieurs équipements sous pression identiques exploités dans des lieux différents, elle doit être déposée auprès de la direction générale de la prévention des risques (DGPR).

Tout exploitant transmet au Groupe émission acoustique (GEA), constitué au sein de l'AFIAP, les résultats des contrôles pour assurer l'exploitation du retour d'expérience. Ce groupe présente annuellement au ministre chargé de la sécurité industrielle (DGPR) le bilan de ce retour d'expérience.

Article 4

La présente décision abroge et remplace la décision BSEI n° 07-107 du 13 avril 2007 relative au remplacement de l'épreuve hydraulique, lors de la requalification de certains équipements sous pression, par un essai sous pression de gaz contrôlé par émission acoustique.

La référence à la décision du 23 décembre 2005 figurant à l'article 2 de la décision BSEI n° 07-066 du 15 mars 2007 est remplacée par la référence à la présente décision.

Article 5

Le directeur général de la prévention des risques est chargé de l'application de la présente décision, qui sera publiée au *Bulletin officiel* du ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat.

Fait à Paris, le 29 juin 2009.

Pour le ministre d'Etat et par délégation :
Le directeur général de la prévention des risques,
LAURENT MICHEL

PRÉFACE

Les équipements sous pression sont fabriqués en mettant en œuvre des méthodes de conception et de calculs, des techniques de construction et de contrôle qui ont fait, par expérience, la preuve de leur sécurité et de leur fiabilité.

Pour maîtriser dans le temps l'état de ces équipements et assurer leur sûreté de fonctionnement, des suivis en service sont réalisés périodiquement dans le respect d'exigences réglementaires et/ou de règles professionnelles de surveillance. Au cours de ces suivis, des essais non destructifs sont mis en œuvre et leur choix est conditionné par la nature des endommagements recherchés.

L'émission acoustique, maintenant pratiquée industriellement depuis plus de trente ans, est actuellement la seule technique d'essai qui, lorsqu'elle est appliquée selon une méthodologie adaptée, permet de contrôler un équipement de façon globale et ce indépendamment de la nature des endommagements susceptibles d'être mis en évidence. Réalisée lors d'un essai de pressurisation, notamment avec le fluide de process, elle permet de localiser les sources émissives en provenance de l'ensemble de la structure, certaines de ces sources pouvant provenir de défauts évolutifs au cours de l'essai effectué. Cette méthode est de ce fait très complémentaire des techniques traditionnelles d'essais non destructifs.

En 1998, il n'existait pas de référentiel, reconnu sur le plan national, décrivant globalement la mise en œuvre d'un contrôle par émission acoustique, l'interprétation et l'exploitation des résultats obtenus, ce qui limitait son application notamment lors des requalifications périodiques des équipements sous pression.

L'AFIAP, seule entité nationale regroupant les principales parties concernées par les équipements sous pression : administration, fabricants, exploitants, centres techniques, organismes habilités, organismes prestataires d'essais non destructifs, a élaboré en mai 2004 la 1ère édition du « Guide des bonnes pratiques de l'émission acoustique », puis a assuré son évolution. La prise en compte du retour d'expérience et l'introduction de nouvelles annexes avait permis de réaliser la 2ème édition publiée en 2009. La présente édition constitue donc la nouvelle version 2016 de ce guide.

Le conseil d'administration de l'AFIAP, avec le soutien de l'Administration, a confié depuis l'origine l'élaboration de ce guide à un comité appelé « Groupe Émission Acoustique ».

Ce guide qui fait l'objet d'une reconnaissance officielle par l'administration française, intègre les exigences des normes disponibles et l'expérience acquise par les professionnels de la pratique de cet essai. Il est constitué de généralités et d'annexes, chacune d'entre elles concernant une famille d'équipements. Il est applicable dans le cadre de la réglementation française relative au suivi en service des équipements sous pression. Pour ces familles d'équipements, il permet lors de la requalification d'équipements spécifiques de remplacer l'épreuve hydraulique par un essai en pression hydrostatique ou pneumatique, surveillé par émission acoustique.

Les nouvelles annexes sont la preuve de sa bonne santé et de son dynamique enrichissement depuis la dernière édition.

Nous y voyons le signe d'un guide toujours au service et au contact des besoins évolutifs des utilisateurs.

Les plus sincères remerciements du conseil d'administration de l'AFIAP et des exploitants concernés sont exprimés à tous les membres du Groupe Émission Acoustique, qui y consacrent bénévolement une partie de leur temps. Leur persévérance a été de mise au cours de toutes les années nécessaires à l'élaboration et à l'évolution du guide. Le Groupe Émission Acoustique (GEA) continuera après la parution de la présente édition à suivre les retours d'expérience et les nouvelles applications. Continuer à faire évoluer, grandir et maintenir à jour ce guide est un travail mené dans l'intérêt de tous les acteurs concernés.

Le Président de l'AFIAP
Henri François



AVERTISSEMENT

L'émission acoustique (EA) appliquée au domaine des équipements sous pression (ESP) permet :

- de contribuer à renforcer la sécurité des essais de mise en pression de gaz,
- d'évaluer l'état d'un appareil lors de ces essais de pressurisation, de pouvoir suivre l'évolution des sources d'émission acoustique avec une interruption minimale de l'exploitation de l'équipement concerné
- de détecter et localiser des sources d'émission acoustique générées par des défauts évolutifs de la structure

Le suivi par émission acoustique d'une épreuve pneumatique est une solution alternative reconnue à l'épreuve hydraulique, notamment dans le cadre des opérations de requalification périodique des équipements sous pression.

Les annexes sont indissociables du corps du guide et sont des compléments nécessaires compte tenu des particularités des équipements traités dans chacune d'elles.

Seul le respect de l'intégralité des exigences du guide permet de réaliser un contrôle de qualité reconnu, reproductible et univoque.

Il constitue un référentiel d'aide à la bonne pratique de l'émission acoustique, l'opérateur étant toujours responsable de la définition des modalités, de la mise en œuvre d'un essai et de l'exploitation des enregistrements en temps réel et en temps différé qui en est faite

Le guide intègre les exigences des normes en leur état à la date de publication. Pour combler certains manques, ce guide précise certaines caractéristiques en attente des normes européennes en discussion au sein du CEN/TC 138 WG7.

Nota : Les « missions et le fonctionnement » du groupe sont précisés dans le document MC040505, révisé le 30 janvier 2009.

2. OBJET.....	11
2. DOMAINE D'APPLICATION.....	11
3. ÉMISSION ACOUSTIQUE : GÉNÉRALITÉS.....	12
3.1. TERMINOLOGIE.....	12
3.1.1. Définitions	12
3.1.2. Symboles utilisés.....	13
3.2. PRINCIPES GÉNÉRAUX	13
3.2.1. Le phénomène d'émission acoustique	13
1.1.1. Train d'ondes.....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>
3.2.2. Le contrôle par émission acoustique	15
3.2.3. Spécificités de l'émission acoustique.....	15
3.2.4. Principe de mesure	16
3.3. NORMES ET CODES	17
3.4. CAS DES ÉQUIPEMENTS SOUS PRESSION (ESP).....	17
3.4.1. Classification par familles des ESP.....	17
3.4.2. Réglementation applicable en France.....	17
3.4.3. Caractéristiques nécessaires à la réalisation d'un contrôle par émission acoustique ...	18
3.4.4. But du contrôle	18
3.4.5. Modes de sollicitation.....	18
4. INSTRUMENTATION.....	19
4.1. CAPTEURS	19
4.2. COUPLAGE ET FIXATION DES CAPTEURS	20
4.3. CÂBLE DE LIAISON CAPTEUR/PRÉAMPLIFICATEUR.....	20
4.4. PRÉAMPLIFICATEUR	20
4.5. FILTRE	20
4.6. CÂBLE SIGNAL ET ALIMENTATION DU PRÉAMPLIFICATEUR	21
4.7. ALIMENTATION ÉLECTRIQUE	21
4.8. UNITÉ CENTRALE.....	21
4.9. MESURE DE LA SOLLICITATION	22
5. PERSONNEL	22
6. LIAISON PRESTATAIRE - DONNEUR D'ORDRE - ORGANISME HABILITE	22
6.1. STRUCTURE DU CAHIER DES CHARGES	23
6.1.1. Objet et domaine d'application.....	23
6.1.2. Références.....	23
6.1.3. Description des équipements	23
6.1.4. Définition de la prestation.....	24
6.1.5. Moyens et fournitures apportés par le donneur d'ordre.....	24
6.1.6. Autres conditions contractuelles de l'intervention.....	24
6.1.7. Exigences complémentaires en matière d'organisation.....	25
6.2. CONTENU DE L'OFFRE.....	25
6.2.1. Objet et domaine d'application	25
6.2.2. Éléments de référence.....	25
6.2.3. Description de l'essai.....	25
6.2.4. Moyens, fournitures et travaux à la charge du donneur d'ordre	26
7. PROCÉDURE	26
7.1. OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION	26
7.2. DOCUMENTS	26
7.2.1. Documents de référence	26

SOMMAIRE

7.2.2.	<i>Documents de travail</i>	26
7.3.	QUALIFICATION DU PERSONNEL.....	26
7.4.	DESCRIPTION DE L'ESSAI	27
7.4.1.	<i>Description de l'ESP</i>	27
7.4.2.	<i>Description de l'instrumentation (chaîne d'acquisition)</i>	27
7.5.	PRÉPARATION DE L'ESSAI	27
7.5.1.	<i>Pressurisation</i>	27
7.5.2.	<i>Vérification de l'instrumentation</i>	27
7.5.3.	<i>Détermination de l'implantation des capteurs</i>	28
7.5.4.	<i>Mise en place des capteurs sur l'ESP</i>	28
7.5.5.	<i>Réglages de l'instrumentation (chaîne d'acquisition) et conditions d'acquisition</i>	28
7.6.	MODE OPÉRATOIRE	29
7.6.1.	<i>Vérifications préliminaires</i>	29
7.6.2.	<i>Suivi de l'essai</i>	30
7.6.3.	<i>Vérification de la sensibilité des voies en fin d'essai</i>	30
7.6.4.	<i>Démontage</i>	30
7.6.5.	<i>Procès-verbal de fin d'essai</i>	30
7.7.	ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES DONNÉES.....	30
7.8.	RAPPORT.....	30
7.9.	ARCHIVAGE	30
8.	INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS ET CRITÈRES	30
8.1.	INTRODUCTION.....	30
8.2.	CRITÈRES ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS	31
8.2.1.	<i>Liste des principaux critères d'analyse</i>	32
8.2.2.	<i>Conditions de validation de l'essai</i>	33
8.2.3.	<i>Paramètres d'analyse en temps réel</i>	33
8.2.4.	<i>Critères d'arrêt en cours d'essai</i>	34
8.2.5.	<i>Critères d'analyse en temps différé et interprétation des données</i>	35
8.2.6.	<i>Classification</i>	35
9.	RAPPORT FINAL	36
10.	UTILISATION DU RAPPORT FINAL.....	37
10.1.	PRÉAMBULE.....	37
10.2.	ÉQUIPEMENTS NEUFS.....	
10.3.	ÉQUIPEMENTS EN EXPLOITATION	38

ANNEXES

ANNEXE 1	: Normes, Codes, Textes réglementaires	39
ANNEXE 2	: Exemples d'équipements contrôlés par émission acoustique	42
ANNEXE 3	: Méthodologie à appliquer pour l'élaboration d'une procédure applicable aux sphère ...	43
ANNEXE 4	: Méthodologie à appliquer pour l'élaboration d'une procédure applicable aux réservoirs de GPL "petit vrac" enterrés	58
ANNEXE 6	: Méthodologie à appliquer pour l'élaboration d'une procédure applicable aux équipements sous pression cylindriques	69
ANNEXE 7	: Méthodologie à appliquer pour l'élaboration d'une procédure applicable aux ESP en matériaux composites	85

SOMMAIRE

ANNEXE 8 : Méthodologie à appliquer pour l'élaboration d'une procédure applicable à des réacteurs	98
ANNEXE 9 : Méthodologie à appliquer pour l'élaboration d'une procédure applicable aux autoclaves.....	118
ANNEXE 10 : Méthodologie à appliquer pour l'élaboration d'une procédure applicable à des ESP en acier inoxydable	136
ANNEXE 11 : Méthodologie à appliquer pour l'élaboration d'une procédure applicable à des échangeurs	142

1. OBJET

Ce guide des bonnes pratiques pour le contrôle par émission acoustique des équipements sous pression s'adresse aux :

- exploitants,
- fabricants,
- administrations,
- organismes habilités,
- prestataires de contrôle par EA.

Son ambition globale est de :

- cerner au mieux les possibilités et les limites de ce type de contrôle lorsqu'il est envisagé de l'utiliser notamment pour le suivi ou la requalification des équipements,
- établir une base commune pour rédiger des procédures et mettre en œuvre un contrôle par émission acoustique dans des conditions optimales, compte tenu des contraintes d'exploitation de l'équipement considéré,
- définir les critères ou les éléments indispensables pour l'interprétation des résultats de l'essai,
- proposer les suites à donner à l'essai.

Compte tenu de ces objectifs globaux, le guide aborde les différents aspects que sont :

- le référentiel existant en ce qui concerne la terminologie, les principes généraux des contrôles, les normes et les codes disponibles,
- l'environnement nécessaire à la mise en œuvre d'un essai : caractéristiques fonctionnelles des ESP structurantes pour l'essai, instrumentation, qualification du personnel, contenu type d'une procédure,
- les différents types de critères, dans certains cas, les éléments nécessaires à leur établissement et leurs conditions de validité,
- les éléments nécessaires pour l'interprétation des résultats,
- le contenu type de la documentation : cahier des charges de la réalisation d'un essai, contenu de l'offre d'un prestataire de contrôle, rapport d'essai ...

Par ailleurs, le guide donne un certain nombre d'exemples d'application de l'émission acoustique représentatifs des différents types d'équipements.

Les critères concernant la qualification initiale seront traités ultérieurement.

2. DOMAINE D'APPLICATION

Le présent guide concerne la méthode de contrôle par émission acoustique (EA) appliquée aux ESP en matériaux métalliques ou non. Les spécificités des différents types d'ESP seront traitées dans les annexes correspondantes. L'annexe donne des exemples d'équipements contrôlés par émission acoustique.

Les annexes jointes traitent :

- des sphères (annexe 3),
- des réservoirs de GPL "petit vrac" enterrés (annexe 4),
- des équipements sous pression cylindriques (annexe 6),
- des ESP en matériaux composites (annexe 7),
- des réacteurs (annexe 8),
- des autoclaves (annexe 9),
- des ESP en acier inoxydables (annexe 10),

- des échangeurs (annexe 11).

3. ÉMISSION ACOUSTIQUE : GÉNÉRALITÉS

3.1. TERMINOLOGIE

Le document de référence pour le vocabulaire émission acoustique est la norme EN 1330-9.

Ce chapitre apporte les compléments nécessaires à la lecture du guide.

3.1.1. Définitions

Prestataire : Entité qui réalise l'examen par émission acoustique (service interne à l'exploitant ou au fabricant ou prestataire de service).

Base de données : Ensemble de données d'expériences regroupées par famille d'ESP : matériau (classe), caractéristiques de l'ESP, type d'essai...

Seuil :

- Seuil d'évaluation : valeur minimale d'un paramètre (ex : amplitude, énergie) caractéristique d'une salve d'émission acoustique pour l'évaluation (analyse) des sources.
- Seuil de référence : valeur seuil d'un paramètre caractéristique d'une salve d'émission acoustique permettant d'étudier plus particulièrement une population de signaux.
- Seuil critique : valeur seuil d'un paramètre caractéristique d'une salve d'émission acoustique d'une source critique.

Activité EA : Nombre de salves ou d'événements localisés en fonction du temps et/ou de la sollicitation.

Certification des opérateurs : certification selon exigences de la norme NF EN ISO 9712.

Cluster : Concentration d'événements localisés (l'algorithme de localisation doit être précisé) définie par un critère de taille en valeur absolue ou relative (% de la distance entre capteurs) et par des seuils de déclenchement en activité et intensité.

Intensité EA : Terme générique associé aux paramètres caractéristiques des salves : énergie, amplitude, durée, ...

Historique de l'ESP : Événements survenus dans la vie de l'équipement avant la réalisation de l'essai et pouvant influencer les résultats de l'émission acoustique tels que la date et les niveaux de pression antérieurs, les réparations éventuelles, les résultats des contrôles non destructifs antérieurs, ...

Paramètres de sollicitation en service (déterminés et fournis par l'exploitant sous sa responsabilité)

- **PMA :** Pression maximale appliquée en service à l'équipement pendant la période de référence, différente de la pression maximale admissible PS.
- **HMA :** Hauteur maximale de la phase liquide appliquée pendant la période de référence.
- **TMA :** Température maximale appliquée pendant la période de référence.
- **TMA_{FL} :** Température maximale du fluide appliquée pendant la période de référence.
- **TMUS :** Température maximale admissible d'utilisation du fluide en service.

Rapport de charge R_f : Rapport entre la charge à laquelle a lieu une ré-émission significative d'émission acoustique et la charge maximale précédemment atteinte. On considère qu'il y a ré-émission acoustique significative lorsque par voie, le nombre de salves détectées par le premier capteur atteint, d'amplitude supérieure ou égale au seuil d'évaluation, est supérieur à N_f par incrément de pression P_f .

Les valeurs de N_f et P_f seront précisées dans les annexes.

Source critique : Les sources critiques d'émission acoustique dont les caractéristiques dépassent les critères de la catégorie 3 définie au § 8.2.6.

3.1.2. Symboles utilisés

N : Activité

I : Intensité

N_{1s} : Nombre de salves détectées par le premier capteur atteint d'amplitude supérieure ou égale au seuil d'évaluation

N_{1e} : Nombre d'événements localisés d'amplitude supérieure ou égale au seuil d'évaluation

E_{1s} : Valeur limite N_{1s}

E_{1e} : Valeur limite N_{1e}

N_{2s} : Nombre de salves détectées par le premier capteur atteint d'amplitude supérieure ou égale au seuil de référence

N_{2e} : Nombre d'événements localisés d'amplitude supérieure ou égale au seuil de référence

E_{rs} : Valeur limite de N_{2s}

E_{re} : Valeur limite de N_{2e}

N_{3s} : Nombre de salves détectées par le premier capteur atteint par palier

N_{3e} : Nombre d'événements localisés par palier

E_{ps} : Valeur limite de N_{3s}

E_{pe} : Valeur limite de N_{3e}

N_{ce} : Nombre d'événements localisés dans un cluster

N_c : Valeur limite de N_{ce} notée N_{ca} pour alarme et N_{cd} pour arrêt.

I_{ce} : Intensité des événements localisés dans un cluster

I_c : Valeur limite de I_{ce} notée I_{ca} pour alarme et I_{cd} pour arrêt

Note : Il est employé les indices

a : alarme	s : pour salve
d : arrêt (danger)	e : pour évènement
i : évaluation (interprétation)	r : référence
p : palier	f : felicity

3.2. PRINCIPES GÉNÉRAUX

3.2.1. Le phénomène d'émission acoustique

L'émission acoustique est un phénomène physique survenant dans les matériaux. Le terme émission acoustique est utilisé pour définir l'énergie élastique libérée dans un matériau sous la forme d'ondes ultrasonores élastiques transitoires.

L'application d'une charge et/ou la présence d'un environnement agressif produit des modifications internes telles que l'évolution de fissure, des déformations plastiques locales, de la corrosion et, dans certains cas, des transformations de phase qui génèrent l'émission acoustique. Cela donne de ce fait, certaines informations sur le comportement interne des matériaux considérés.

Les ondes sont détectées au moyen de capteurs spécifiques qui permettent la conversion des mouvements de surface du matériau en signaux électriques. Ces signaux sont traités par des instrumentations adaptées en vue d'indiquer et de localiser les sources d'émission acoustique.

La figure 1 présente le schéma de principe du contrôle par émission acoustique.

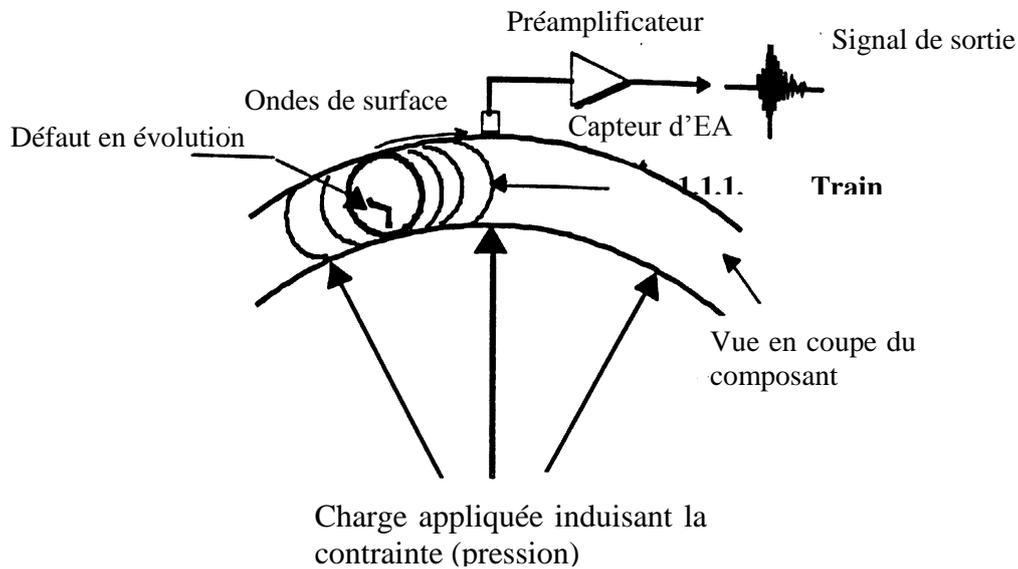


Figure 1 : schéma de principe du contrôle par émission acoustique d'un équipement sous pression

Il existe deux types d'émission acoustique :

- ⇒ L'émission discrète : caractérisée par l'émission d'événements discrets pouvant être séparés les uns des autres.
- ⇒ L'émission continue : caractérisée par l'émission d'événements ne pouvant pas être séparés les uns des autres.

Les facteurs d'influence : les principaux facteurs d'influence de l'amplitude des signaux sont définis dans le tableau ci-dessous (référence : Essais Non Destructifs – émission acoustique – mise en œuvre et applications par J. Roget – AFNOR-CETIM).

Tableau 1 : principaux facteurs d'influence

Caractéristiques du matériau et de la structure	Principaux facteurs favorisant des signaux de grande amplitude	Principaux facteurs favorisant des signaux de faible amplitude
Propriétés mécaniques	Résistance mécanique élevée	Résistance mécanique faible
Structure	Anisotropie Hétérogénéité Présence de défauts Tendance à former des macles Transformation martensitique Structure brute de coulée Structure brute de soudage Structure à gros grains	Isotropie Homogénéité Matériau sans défaut Maclage très difficile Transformation de phase par diffusion Structure détensionnée Structure à grains fins
Mode de rupture	Propagation de fissure Rupture de clivage	Déformation plastique uniforme Déformation par cisaillement
Mode de chargement	Vitesse de déformation élevée	Vitesse de déformation faible
Géométrie	Épaisseurs importantes	
Environnement	Température basse	Température élevée

D'autres facteurs peuvent générer des signaux parasites :

- les frottements,
- les vibrations,
- les signaux électromagnétiques,
- les revêtements,
- les accessoires,
- l'environnement de l'ESP à contrôler,
- la pluie ...

3.2.2. Le contrôle par émission acoustique

Les caractéristiques du contrôle par émission acoustique sont les suivantes :

- Il s'agit d'une méthode de détection et d'écoute de la réponse de la structure à une variation de la charge appliquée.
- Il permet la détection à distance des sources, dans certains cas à plusieurs mètres des capteurs.
- Il permet de réaliser un contrôle volumique global de l'intégrité de la structure.
- Il est sensible à l'évolution des défauts, à la nature et la composition du matériau, ainsi qu'aux changements subis par sa structure.
- Il peut permettre le contrôle dynamique en temps réel des discontinuités évolutives sous l'action de la contrainte.
- Il peut permettre la détection et la localisation d'un endommagement qui évolue en fonction d'un stimulus donné.
- Il nécessite en général l'application d'une contrainte supérieure à la contrainte maximale atteinte en fonctionnement, notamment pour les équipements en matériaux métalliques. Dans certains cas, il peut s'appliquer au contrôle des structures en conditions normales de fonctionnement.
- Il est non intrusif.
- Il permet de suivre l'effet de l'application des charges et peut prévenir d'éventuelles ruptures brutales d'un ESP.
- Il est applicable à toutes structures qu'elles soient aériennes, enterrées, sous talus, revêtues ou non.

La différence entre la méthode d'émission acoustique et la majorité des autres méthodes d'essais non destructifs, découle des caractéristiques mentionnées ci-dessus. C'est le matériau lui-même qui libère l'énergie conséquence de la dégradation structurelle due aux différents mécanismes source. Il s'agit d'une méthode différente de celle qui permet la détection de discontinuités géométriques en condition statique.

3.2.3. Spécificités de l'émission acoustique

Les spécificités du contrôle par émission acoustique sont les suivantes :

- La méthode d'émission acoustique ne peut s'appliquer que si les ESP sont soumis à des contraintes permettant de stimuler localement l'activité acoustique.
- Généralement, les discontinuités non sensibles à la charge appliquée sont généralement non émissives.
- Pour les matériaux métalliques, les applications successives de charges au même niveau de contrainte ne permettent d'identifier que les discontinuités encore actives du fait du phénomène d'irréversibilité connu sous le nom d'"effet Kaiser". La non-vérification de l'effet Kaiser se traduit par l'apparition d'une émission acoustique significative à une charge inférieure au niveau maximal précédemment atteint et se caractérise par le rapport de charges R_f .
- Le contrôle peut être sensible à la présence de perturbations extérieures à la structure qui engendrent des bruits ultrasonores parasites. Avant d'effectuer un essai d'émission

acoustique, il est important de vérifier la présence de sources potentielles parasites. Il est nécessaire d'éliminer ces sources ou a minima, de s'assurer qu'elles ne réduisent pas l'efficacité du contrôle.

- Le contrôle est sensible à tous les phénomènes entraînant une émission acoustique (frottement, relaxation de contraintes, ...), qui ne sont pas nécessairement des défauts évolutifs et qui peuvent rendre, dans certains cas, l'interprétation plus difficile (exemple : présence d'internes, de pieds, ...).

3.2.4. Principe de mesure

La mesure de l'émission acoustique générée par une structure soumise à sollicitation peut être décrite en deux phases :

- détection de l'onde acoustique,
- analyse des données d'émission acoustique en temps réel et différé.

3.2.4.1 *Détection de l'onde acoustique*

En règle générale, on utilise des capteurs piézo-électriques qui convertissent le déplacement de surface provoqué par l'onde acoustique (issue de la source d'émission acoustique) en signal électrique. Ces capteurs sont couplés à la surface du matériau et maintenus de façon mécanique. Le signal d'émission acoustique est ensuite conditionné par un préamplificateur qui a comme fonctions :

- l'adaptation d'impédance électrique
- l'amplification
- le filtrage.

Le signal d'émission acoustique est ensuite transmis au système de mesure par câble coaxial.

A l'entrée du système, on trouve suivant le type de chaîne de mesure, soit un convertisseur analogique numérique (pour les systèmes numériques), soit un amplificateur (pour les systèmes analogiques).

Ensuite, l'opération réalisée est la détection des dépassements de seuil. Les signaux sont comparés à un seuil de détection réglable. Lorsque le dispositif détecte un dépassement de ce seuil de détection, les mesures des paramètres caractéristiques des signaux d'émission acoustique (salves) sont réalisées.

Le bruit de fond et le niveau de l'émission acoustique continue sont en général mesurés par une grandeur physique moyennée du signal (valeurs RMS, valeurs ASL, ...).

Les paramètres de base mesurés sur chaque salve sont les suivants :

- le temps d'arrivée (instant de la détection du dépassement de seuil),
- l'amplitude maximale (exprimée en dB_{EA}),
- le nombre de coups,
- la durée,
- le temps de montée,
- l'énergie, ...

Ces paramètres recueillis sur chacune des voies de mesure de manière indépendante et pour chaque salve détectée sont ensuite transmis au système de stockage et de calcul (en général un micro-ordinateur).

3.2.4.2 *Analyse des données d'émission acoustique en temps réel et différé*

Une fois les données d'émission acoustique stockées, des traitements adéquats sont appliqués afin d'évaluer les résultats des mesures. Ces traitements portent sur les paramètres des salves (analyses historique et statistique), mais permettent aussi (en règle générale) de grouper les salves détectées par les différentes voies de mesure pour localiser les sources d'émission acoustique.

3.3. NORMES ET CODES

La liste des normes et codes concernant directement ou indirectement les ESP est portée à titre informatif en annexe 1.

Pour chaque application spécifique, il convient de sélectionner les documents les plus pertinents.

3.4. CAS DES ÉQUIPEMENTS SOUS PRESSION (ESP)

3.4.1. Classification par familles des ESP

La mise en œuvre des contrôles par émission acoustique (procédures, critères) dépend d'un certain nombre de paramètres propres aux équipements sous pression ; c'est pourquoi il est nécessaire de les classer en "familles".

Le présent guide distingue ces différentes familles à partir des paramètres suivants :

- le type et la géométrie de la structure : sphères, appareils cylindriques comportant deux fonds, réservoirs "petit vrac", autoclaves (avec porte), réservoirs de stockage verticaux à fond plat, bouteilles, tuyauteries et canalisations, échangeurs, ...
- la nature et les propriétés mécaniques des matériaux et des éventuels revêtements (plaquage, rechargement, ...). Les matériaux peuvent être regroupés par "classe".

3.4.2. Réglementation applicable en France

En France, la fabrication des récipients à pression simples et des équipements sous pression relève de directives européennes :

- directive 2009/105/CE du 16 septembre 2009 puis directive 2014/29/UE du 26 février 2014 relative aux récipients à pression simples,
- directive 97/23/CE du 29 mai 1997 puis directive 2014/68/UE du 15 mai 2014 relative aux équipements sous pression.

Ces textes ont été transposés dans la réglementation nationale : code de l'environnement et décret n°99-1046 du 13 décembre 1999 relatif aux équipements sous pression.

Le suivi en service de ces appareils à pression relève de dispositions nationales, notamment de l'arrêté du 15 mars 2000 relatif aux équipements sous pression.

Cette réglementation couvre globalement un domaine plus large que celui couvert par les anciens textes réglementaires français (décrets de 1926 et 1943).

Le champ d'application de cette réglementation s'étend en effet aux équipements (récipients, tuyauteries, accessoires sous pression, accessoires de sécurité) sous pression de gaz ou de liquide de PS supérieure à 0.5 bar. La réglementation prévoit certains cas d'exclusions. Il s'agit notamment des équipements pour le transport des matières dangereuses, des équipements destinés au fonctionnement des véhicules, ... ou de ceux qui travaillent à une pression supérieure à 0.5 bar mais qui ne présentent pas de risques réels (pneumatiques, bouteilles de boissons gazeuses par exemples).

À intervalles réguliers, les équipements sous pression et les récipients à pression simples doivent être contrôlés de manière à s'assurer, dans le respect des exigences réglementaires (voir annexe 1 § 6), qu'ils sont aptes à être maintenus en service. Cette vérification consiste en une requalification périodique dont les modalités, outre l'inspection visuelle et le contrôle des accessoires de sécurité, sont fixées en fonction des modes et des vitesses de dégradations potentielles des équipements.

Le plus souvent, la requalification comporte une épreuve hydraulique. Celle-ci présente certains inconvénients, implique l'arrêt de l'installation (engendrant des coûts d'arrêt de production ou de maintenance ...) et entraîne une surcharge (poids d'eau). A la fin du contrôle, des précautions doivent être prises pour prévenir tout phénomène de corrosion ou de pollution. Le contrôle par émission acoustique est une méthode particulièrement adaptée pour satisfaire cette exigence réglementaire.

3.4.3. Caractéristiques nécessaires à la réalisation d'un contrôle par émission acoustique

Les caractéristiques minimales nécessaires à connaître sont la pression de calcul, le domaine de température de service et la nomenclature des matériaux constitutifs.

Il faut vérifier que la température de l'essai n'entre pas dans le domaine fragile du ou des matériaux. Ceci est de la responsabilité de l'exploitant.

L'émissivité dépend notamment de la nature du matériau, des caractéristiques mécaniques et des traitements thermiques réalisés : ces données doivent être connues pour ajuster les paramètres de contrôle et déterminer la sensibilité de détection.

La propagation et l'atténuation des ondes, la localisation des sources d'émission acoustique dépendent principalement des paramètres suivants :

- la géométrie de l'équipement (diamètre, longueur, épaisseur, support, piquages, ...),
- l'état des surfaces, l'hétérogénéité et l'anisotropie du matériau,
- l'environnement (revêtement interne, calorifuge, ignifuge, talus, ...),
- le contenu de l'ESP (phase liquide, gazeuse) et la température de sa paroi.

Ces informations sont nécessaires pour déterminer le nombre de capteurs et leur position.

3.4.4. But du contrôle

Le but du contrôle par émission acoustique est de :

- suivre le comportement mécanique de l'ESP au cours du cycle de sollicitation,
- vérifier et évaluer l'intégrité de l'ESP jusqu'aux conditions maximales de sollicitation atteintes au cours de l'essai,
- réaliser un diagnostic de la sévérité des sources d'émission acoustique en référence aux critères applicables à l'équipement.

3.4.5. Modes de sollicitation

Pour réaliser un contrôle par émission acoustique, il est nécessaire d'appliquer une sollicitation supérieure à celle appliquée sur une période de référence dont la durée doit être précisée dans la procédure. Il est donc nécessaire de connaître l'historique préalable du chargement appliqué.

Les données à minima sont :

- la pression maximale appliquée en service (PMA), la pression maximale admissible (PS), la pression et date de dernière épreuve,
- la température maximale en service (TMA),
- le niveau de remplissage de liquide en service (HMA) et sa masse volumique.

Sauf avis contraire précisé dans les annexes, la pression conseillée pour le suivi par émission acoustique est de 110 % de la pression maximale en service (PMA) supportée par l'appareil au cours d'une période de référence de durée minimale de 6 mois à préciser dans la procédure. Lorsque possible, une pression supérieure peut être appliquée. Pour les ESP neufs, l'émission acoustique peut être utilisée indifféremment lors de l'épreuve hydraulique ou de l'essai pneumatique réalisé en fin de fabrication.

La pression maximale appliquée lors de l'essai réalisé sous pression de gaz ne doit pas être supérieure à la pression maximale admissible PS.

Les critères de classement précisés dans les annexes devront tenir compte de la valeur de la surpression appliquée

Cas de la requalification périodique d'un ESP

- La pression de requalification est la pression maximale appliquée lors de l'essai. Par exception, lorsque cette dernière est au moins égale à 90 % de la pression maximale admissible déclarée par le fabricant, la pression de requalification est égale à la pression maximale admissible PS.
- Lorsque la pression de requalification est inférieure à 90 % de la pression maximale admissible PS, le tarage des accessoires de sécurité à la pression de requalification doit être adapté en conséquence et le marquage modifié.

4. INSTRUMENTATION

La description de l'instrumentation et ses caractéristiques de fonctionnement sont précisées dans la norme EN 13477-1.

L'instrumentation doit être vérifiée avec une fréquence minimale annuelle selon les spécifications du fabricant de l'instrumentation suivant la norme EN 13477-2.

Chaque voie de mesure doit être protégée contre les interférences d'origine électromagnétique susceptibles de perturber la mesure.

Afin de satisfaire aux exigences d'un contrôle par émission acoustique, l'instrumentation doit posséder des caractéristiques respectant les exigences des normes européennes (annexe 1) et prenant en compte les exigences de sécurité requises, comme par exemple celle induite par une atmosphère explosible (matériel à sécurité intrinsèque, ...).

Les éléments de ce chapitre précisent et complètent ces normes.

Sur demande du donneur d'ordre ou de l'organisme habilité le cas échéant, le prestataire doit pouvoir fournir les documents justificatifs de la vérification de l'instrumentation.

4.1. CAPTEURS

Les capteurs utilisés sont de type piézoélectrique résonant. Leur fréquence de résonance doit être comprise entre 70 et 500 kHz pour les ESP en matériaux métalliques.

Les trois normes suivantes ou toute norme ou méthode reconnue permettant d'étalonner le capteur de façon équivalente peuvent être utilisées pour la mesure de la sensibilité :

- ISO 12713 : Contrôle par émission acoustique - Étalonnage primaire des transducteurs (capteurs)
- ISO 12714 : Contrôle par émission acoustique - Étalonnage secondaire des capteurs
- NDIS 2109: Method for absolute calibration of AE transducers by reciprocity technique.

Un suivi dans le temps des caractéristiques des capteurs, doit être réalisé suivant la norme EN 13477-2.

La réception point zéro doit être vérifiée par le prestataire.

L'amplitude du pic de résonance (spectre fréquentiel) ne doit pas varier de plus de 3 dB pour un lot de capteurs utilisés dans le cas d'un essai d'ESP. Les différences relatives entre capteurs sont déterminées par une méthode comparative.

La variation de sensibilité de chaque capteur ne doit pas excéder 3 dB dans sa gamme d'utilisation en température.

4.2. COUPLAGE ET FIXATION DES CAPTEURS

Un agent de couplage solide ou fluide doit être employé pour assurer la bonne transmission des ondes depuis la structure vers le capteur. Le choix du couplant doit tenir compte d'un certain nombre de paramètres de l'examen tels que l'atténuation des ondes acoustiques, le risque de corrosion, la durée, la température, la stabilité physique et chimique dans la gamme de température d'utilisation, ...

Le mode de fixation du capteur sur la paroi doit garantir la bonne tenue du capteur pendant la durée de l'essai.

Lorsque des guides d'onde sont utilisés, ils doivent être intégrés dans la mesure de la sensibilité de la chaîne d'acquisition.

4.3. CÂBLE DE LIAISON CAPTEUR/PRÉAMPLIFICATEUR

Le câble de liaison entre le capteur et le préamplificateur doit être correctement protégé des interférences électromagnétiques. Ce câble doit être également approprié aux conditions d'environnement (température, environnement explosif, ...).

En général, la longueur des câbles doit être inférieure à 1,5 m. Dans certains cas, des longueurs supérieures peuvent être utilisées, dans la mesure où l'on s'assure de la bonne sensibilité de l'ensemble capteur/câble et de la protection aux interférences électromagnétiques du câble.

4.4. PRÉAMPLIFICATEUR

Le préamplificateur assure à la fois l'amplification et l'adaptation en impédance du signal. Il peut être intégré au capteur, son utilisation doit se faire dans le respect des spécifications du fabricant. Dans tous les cas, il faut tenir compte des spécifications du fabricant afin de garantir que la réponse fréquentielle ne diffère pas de plus de 3 dB pour la bande passante.

Le gain du préamplificateur doit être réglé en général dans une gamme d'amplification de 40 ± 10 dB avec un système de filtres adapté à la réponse du capteur. Les valeurs doivent être précisées dans la procédure.

4.5. FILTRE

Le filtrage global (préamplificateur + système) doit conduire à une atténuation d'au moins 24 dB/octave en dehors de la bande passante pour chaque voie d'acquisition

4.6. CÂBLE SIGNAL ET ALIMENTATION DU PRÉAMPLIFICATEUR

Le plus souvent, pour des raisons pratiques, le câble d'alimentation du préamplificateur et le câble signal qui assure la liaison préamplificateur système de mesure sont généralement confondus. Dans tous les cas, ces câbles doivent être suffisamment protégés contre les interférences d'origine électromagnétique. L'atténuation du signal produite par le câble ne doit pas excéder 1 dB par 30 m et, dans tous les cas, ne doit pas dépasser 3 dB pour l'ensemble de la bande passante du préamplificateur (filtres compris).

4.7. ALIMENTATION ÉLECTRIQUE

Une alimentation stable, de puissance adaptée et appropriée aux spécifications de l'instrumentation, doit être utilisée.

4.8. UNITÉ CENTRALE

La linéarité du système de mesure doit être garantie sur toute la gamme d'amplitude utilisée avec une tolérance inférieure ou égale à 3 dB dans la gamme de température 5 à 40 °C.

Les salves sont détectées, caractérisées et enregistrées par rapport à un seuil exprimé en dB_{EA} avec une précision requise de $\pm 1\text{dB}$ sur toute son étendue de variation pour toutes salves supérieures au seuil.

Elles doivent être corrélées au cycle de sollicitation acquis informatiquement par une entrée paramétrique.

L'unité centrale doit permettre d'extraire en parallèle sur chaque voie de mesures et pour chaque salve au minimum les paramètres suivants :

- l'amplitude exprimée en dB_{EA} et référencée au gain de l'amplificateur et du préamplificateur : l'incertitude de mesure ne doit pas excéder $\pm 2\text{dB}$ en tenant compte du préamplificateur,
- le temps d'arrivée exprimé en micro secondes : sa précision minimale doit être de 0,25 micro seconde synchronisée sur toutes les voies d'une maille,
- l'énergie : avec une incertitude de 10 % (*) et une dynamique minimale de 40 dB,
- le nombre de coups : le nombre de coups au-dessus du seuil doit présenter une précision minimale de 5 % (*),
- la durée exprimée en micro secondes : elle doit présenter une incertitude minimale de 5 % (*),
- la sollicitation (entrée paramétrique) : l'incertitude de mesure doit être inférieure à 2 % (*) sur l'étendue de variation correspondant à la pression d'essai.

(*) Nota : précision mesurée par rapport à un signal calibré (cf. norme européenne EN 13477-2).

La cadence d'acquisition pour les paramètres du système décrits ci-dessus doit être supérieure à 200 salves par seconde pour chacune des voies en simultanée pendant une période minimale de 10 secondes. Durant ce temps, le système doit être capable de détecter, de caractériser, d'enregistrer et de visualiser les données avec une cadence minimale de 100 salves par seconde en continu pour chacune des voies de mesures en simultanée.

La gamme dynamique minimale utilisable (sans modification de réglage) doit être supérieure à 80 dB avec une résolution minimale de 1 dB dans la gamme de fréquence utilisée (la stabilité en température doit être supérieure à 2 dB dans la gamme de 5 à 40 °C).

Le système doit être capable de réaliser une localisation zonale, linéaire et planaire et de la visualiser en temps réel.

Le système doit réaliser en temps réel l'affichage des résultats sous forme de courbes en fonction du temps et de la sollicitation pour les paramètres caractéristiques des salves d'EA.

La configuration du système, toute modification du paramétrage (seuil, gain, ...) pendant l'examen ainsi que l'instant où cette modification devient effective pour l'acquisition doivent être enregistrés sur support informatique.

Au cours d'un essai pneumatique, sans suspendre l'acquisition et sans perte de données, le système doit garantir la transmission de l'information dans une période maximale de 3 secondes. En cas de non-respect de cette garantie, une alarme devrait s'afficher le temps que le système puisse traiter l'information.

4.9. MESURE DE LA SOLLICITATION

La mesure de la pression et de la température lorsqu'applicable, doit être enregistrée durant l'essai par le système d'émission acoustique, de manière informatisée à l'aide d'une entrée paramétrique, afin de pouvoir être corrélée lors de l'analyse aux signaux acoustiques acquis.

L'incertitude de mesurage de la pression lue sur le système EA doit être inférieure à 2 %, sur l'étendue de la variation de pression.

L'incertitude de mesurage de la température, si applicable doit être maîtrisée et précisée dans la procédure.

5. PERSONNEL

Le personnel requis pour les prestations, la réalisation des essais et l'interprétation des résultats doit :

- posséder la formation et l'expérience correspondantes dans le domaine du contrôle par émission acoustique des ESP,
- avoir les qualifications appropriées pour mener à bien les essais conformément aux conditions requises de qualification et de certification spécifiées dans la norme NF EN ISO 9712 par un organisme reconnu par l'Administration,
- disposer des habilitations sécurité spécifiques lui permettant d'intervenir sur le site.

Le responsable des contrôles sur site doit être a minima un personnel certifié AT2.

Un personnel certifié AT3 doit :

- superviser l'ensemble des travaux,
- valider les procédures et leurs modifications,
- approuver le rapport final.

Sur demande du donneur d'ordre ou de l'organisme habilité le cas échéant, le prestataire doit pouvoir présenter les documents justificatifs.

6. LIAISON PRESTATAIRE - DONNEUR D'ORDRE - ORGANISME HABILITE

Le donneur d'ordre rédige un cahier des charges permettant au prestataire de définir son offre afin d'établir les relations contractuelles dans le domaine technique entre les deux parties.

Le donneur d'ordre et le cas échéant l'organisme habilité se réservent la possibilité de vérifier que le prestataire respecte l'ensemble des exigences du présent cahier des charges et applique les modalités des documents contractuels notamment la procédure d'essai.

Le donneur d'ordre devra vérifier que les conditions d'essais sont compatibles avec les hypothèses retenues dans l'analyse des risques du site, au titre de la réglementation des installations classées lorsqu'elle s'applique.

6.1. STRUCTURE DU CAHIER DES CHARGES

6.1.1. Objet et domaine d'application

L'objectif de ce paragraphe est de définir l'équipement testé ainsi que la prestation (surveillance d'une épreuve, détection de fuite, détection de sources d'émission acoustique, ...).

6.1.2. Références

Ce paragraphe a pour but de définir les documents spécifiques à l'essai :

- le présent guide,
- les normes, codes, textes réglementaires éventuellement applicables,
- les règles internes d'intervention que le prestataire devra respecter,
- les exigences de qualité du donneur d'ordre auxquelles le prestataire doit satisfaire.

Les documents spécifiques du donneur d'ordre seront joints au cahier des charges.

6.1.3. Description des équipements

Les équipements soumis à examen sont décrits en précisant en annexe les éléments techniques détaillés tels que plans, notes de calcul, ...

Ces informations doivent comporter :

- le type et la fonction de l'équipement,
- le plan détaillé de l'équipement donnant les dimensions et emplacement des divers composants de l'équipement,
- les matériaux constitutifs,
- les modes d'assemblage (par exemple : soudage, doublage, type de joints, ...) et leur localisation sur l'équipement,
- le traitement thermique et/ou mécanique éventuel,
- les éléments de structure (supportages externes et structures internes),
- la nature des fluides contenus,
- les caractéristiques réglementaires (PS, TSmin, TSmax),
- les dispositifs de protection contre les surpressions (soupapes, ...),
- les conditions normales de service (pression, température) et les valeurs maximales atteintes sur la période de référence donnée (PMA, TMA, HMA),
- l'information sur l'historique de l'équipement : épreuves et essais précédents, contrôles antérieurs (rapports, enregistrements), réparations, présence de défauts connus ou suivis,
- les mécanismes de dégradation connus ou suspectés,
- l'état de surface interne et externe,

- conditions de présentation de l'équipement : en extérieur ou sous abri, présence et nature du calorifuge et du revêtement, température, fluides d'essai, isolation acoustique éventuelle, ...
- l'accessibilité à l'équipement (plate-forme, échafaudage, nacelle, ...),
- le mode de sollicitation de l'équipement (pressurisation hydraulique ou pneumatique, variations de sollicitation en service, ...), les paramètres de sollicitation (pression, température) surveillés et les valeurs limites à ne pas dépasser pendant l'essai,
- les éléments pouvant servir dans le processus de mise en pression (tuyauteries, robinetterie, piquages, ...),
- les sources parasites potentielles (mécaniques, électromagnétiques, hydrodynamiques, process, ...),
- les conditions particulières d'environnement et de sécurité (atmosphère explosive, toxicité, irradiations, ...).

6.1.4. Définition de la prestation

Le donneur d'ordre fixe le contenu technique de l'essai tel que :

- les zones à examiner ou à surveiller en précisant éventuellement les zones sensibles,
- les exigences particulières en matière de localisation des sources (type et précision).

Le donneur d'ordre précise les fournitures attendues du prestataire telles que :

- les documents préparatoires à l'opération : procédure d'essai, ...,
- la mise en place de l'instrumentation,
- la réalisation des essais conformément aux procédures,
- l'analyse des données,
- la comparaison éventuelle avec les résultats des essais antérieurs,
- le démontage du matériel et la remise en état du site et de l'équipement,
- le rapport, à remettre dans un délai donné.

6.1.5. Moyens et fournitures apportés par le donneur d'ordre

Ces moyens et fournitures doivent comporter par exemple :

- les fluides (électricité, air comprimé, ...) ainsi que les lieux et les dispositifs de raccordement,
- les moyens de manutention et d'accès (ponts, échafaudages, passerelles, ...),
- les locaux pour l'appareillage et la gestion du chantier avec les facilités (dispositifs de sécurité individuels et collectifs spécifiques, dispositions nécessaires au respect des prescriptions d'hygiène et de sécurité, ...),
- les moyens d'application de la sollicitation nécessaire à l'essai (type, caractéristiques, montage, ...),
- les moyens de mesure de la sollicitation, notamment une sortie paramétrique compatible avec le système d'acquisition,
- la mise à disposition de personnels compétents, disponibles et connaissant parfaitement l'installation permettant de pallier toute situation et contribuer significativement à la réussite de l'examen.

6.1.6. Autres conditions contractuelles de l'intervention

En particulier :

- période, lieu, horaires (en 3x8 par exemple) et durée prévisible de mise à disposition de l'équipement,
- préavis et modalités de confirmation de la date,
- conditions de sécurité d'accès pour le personnel et habilitations requises,

- conditions d'utilisation du matériel sur le site,
- définition des réunions d'enclenchement, d'avancement et de fin de chantier,
- fixation des dates de remise des résultats intermédiaires et définitifs,
- nom(s) du (des) correspondant(s).

6.1.7. Exigences complémentaires en matière d'organisation

Le donneur d'ordre peut porter dans son cahier des charges des exigences complémentaires, en particulier sur :

- les formes de documents utilisés au cours de l'essai (relevé de mesure, cahier d'essais, prise de notes, ...) permettant d'assurer la traçabilité de l'essai,
- la fixation de jalons ou de points clefs entre chaque étape de l'opération,
- les modalités du traitement des écarts par rapport aux procédures,
- la fourniture de l'enregistrement brut des données,
- les modalités d'archivage (type de support, durée, accessibilité).

6.2. CONTENU DE L'OFFRE

Ce paragraphe définit le contenu technique de l'offre en réponse au cahier des charges du donneur d'ordre. Cette offre est complétée par une partie commerciale.

6.2.1. Objet et domaine d'application

L'offre doit reformuler la demande de prestation :

- le but de l'examen,
- la référence et la description de l'équipement à tester, ...

6.2.2. Éléments de référence

Ce paragraphe reprend le cahier des charges avec les réserves et commentaires éventuels. Les documents propres au prestataire sont précisés dans ce paragraphe.

6.2.3. Description de l'essai

L'offre doit contenir au minimum les informations suivantes :

- les conditions de sollicitation : mode (hydraulique, pneumatique, en service, ...) et les valeurs maximales des paramètres de sollicitation,
- la description et durée (planning) des différentes phases de la prestation : lieu, préparation, mise en place et vérification de l'instrumentation, réalisation de l'essai, démontage.
- les moyens mobilisés par le prestataire pour la réalisation de l'essai :
 - la description de l'instrumentation (modèle, marque, type, nombre de voies),
 - la qualification du personnel,
 - les moyens logistiques,
 - l'organisation.
- le nombre et emplacement des capteurs, mode de fixation des capteurs,
- l'étendue des zones couvertes par l'essai,
- le mode de localisation des sources et la justification de ce choix,
- la courbe de chargement (niveau et durée des paliers, vitesses de montée et de descente, ...),
- la nature des données enregistrées et leurs conditions d'archivage,
- l'évaluation de la sévérité des sources, classification des sources, critères utilisés,
- les conditions d'établissement des documents prévus par le guide (procédure d'essai, procès-verbal de fin d'essai, rapport final).

6.2.4. Moyens, fournitures et travaux à la charge du donneur d'ordre

Ce paragraphe reprend les informations du § 6.1.5 et précise les moyens, fournitures et travaux supplémentaires éventuellement nécessaires pour l'essai, notamment :

- la préparation de l'équipement à contrôler (dé calorifugeage, éclairage, ...),
- les précautions à prendre vis à vis des perturbations extérieures (arrêt de machines, découplage mécaniques, ...).

7. PROCÉDURE

La procédure doit comporter au minimum les informations listées ci-après.

Elle est spécifique à l'essai et doit être remise au donneur d'ordre et à l'organisme habilité (dans le cas d'une requalification périodique) pour information, préalablement à la réalisation de l'essai.

La procédure devra intégrer un paragraphe "sécurité" qui renverra au plan de prévention réalisé avant l'intervention.

7.1. OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

Ce paragraphe de la procédure doit comporter a minima :

- l'identification de l'équipement à contrôler (n° d'appareil, ...)
- les coordonnées de l'exploitant,
- le lieu d'installation de l'équipement et son utilisation,
- le but de l'examen (recherche de défauts évolutifs, détection de fuite, ...),
- le cadre de l'examen (épreuve hydraulique, essai pneumatique, suivi en service, ...),
- le type de sollicitation (pression, température, ...).

7.2. DOCUMENTS

7.2.1. Documents de référence

Ce paragraphe doit contenir la liste des documents utilisés pour l'élaboration de la procédure et la définition de l'essai, parmi lesquels :

- le cahier des charges du donneur d'ordre,
- les codes, textes réglementaires et normes applicables,
- le dossier de l'ESP (plan, caractéristique, historique, ...),
- le présent guide et les annexes retenues,
- les documents internes au prestataire (PAQ, procédures générales, modes opératoires, ...).

7.2.2. Documents de travail

Ce paragraphe doit contenir la liste des documents (avec indice de révision) utilisés au cours de l'examen tels que relevés de mesure, feuilles d'essais, prises de notes, cahier d'essais, ...

Sur demande du donneur d'ordre ou de l'organisme habilité (dans le cas de la requalification périodique), les documents doivent lui être présentés.

7.3. QUALIFICATION DU PERSONNEL

Ce paragraphe doit indiquer a minima la qualification et le niveau de certification des personnels en charge de :

- la réalisation des essais sur site,

- l'interprétation des résultats,
- l'approbation du rapport.

7.4. DESCRIPTION DE L'ESSAI

7.4.1. Description de l'ESP

Ce paragraphe doit reprendre à minima les informations contenues dans le cahier des charges du donneur d'ordre (cf. § 6.1.3).

7.4.2. Description de l'instrumentation (chaîne d'acquisition)

Ce paragraphe doit comporter à minima les informations suivantes permettant d'identifier chaque élément de la chaîne d'acquisition telles que :

- les capteurs (type, fréquence, sensibilité et bruit de fond propre, ...),
- les préamplificateurs (gain, filtre, ...),
- les marque(s) et modèle(s) du système d'acquisition,
- la bande passante de l'ensemble de la chaîne.

Le choix de ces éléments et de leurs caractéristiques doit être justifié par le prestataire.

7.5. PRÉPARATION DE L'ESSAI

Ce paragraphe doit indiquer l'ensemble des opérations à réaliser préalablement à l'essai sur site.

7.5.1. Pressurisation

Ce paragraphe doit comporter à minima les informations suivantes :

- la pression maximale de l'essai définie conformément au § 3.4.5,
- les caractéristiques du cycle de mise en pression (pente, durée des paliers, ...),
- la nature et la température du fluide,
- les caractéristiques du capteur de pression (gamme, incertitude, ...).

Notes à l'attention du donneur d'ordre :

- les moyens de pressurisation utilisés devront permettre de réaliser le cycle prévu,
- la vitesse de pressurisation et la configuration de raccordement devront être adaptées de façon à générer le minimum de bruit dans les limites des valeurs qui seront précisées dans chaque annexe,
- lorsque l'exploitant fournit les informations de pression de l'ESP, il le fait sous forme de signaux enregistrables sur la chaîne de contrôle EA. Il tient à disposition du prestataire des éléments de preuve du raccordement des mesures mises à disposition. Dans le cas contraire, il doit permettre leur mesurage et leur enregistrement par les moyens du prestataire,
- la valeur de la pression en cas d'un test d'étanchéité, réalisé juste avant l'essai, ne doit pas modifier la PMA déclarée sur la période de référence.

Note à l'attention du prestataire :

La pression doit être impérativement enregistrée en continu et sans parasites dans le fichier des données d'émission acoustique afin de pouvoir la corrélérer aux données d'émission acoustique.

7.5.2. Vérification de l'instrumentation

Ce paragraphe doit lister les procédures de vérification périodique applicables au contrôle des éléments de la chaîne d'acquisition en conformité avec le § 4 du présent guide.

Les procédures et les procès-verbaux de vérification de l'instrumentation sont présentés au donneur d'ordre et à l'organisme habilité, le cas échéant, à sa demande.

7.5.3. Détermination de l'implantation des capteurs

Selon le mode de localisation retenu, ce paragraphe doit décrire la méthodologie utilisée pour définir l'implantation des capteurs qui doit être représentée sur un schéma.

Lorsque le prestataire dispose d'une base de données contenant des cas identiques, il peut, en les justifiant, proposer un schéma d'implantation des capteurs.

Dans le cas contraire, il doit réaliser un essai préliminaire afin de déterminer la vitesse et l'atténuation des ondes dans l'ESP à l'aide d'une technique normalisée (rupture de mines de graphite ou autre).

Cette méthode doit permettre de confirmer la distance maximale entre capteurs et d'établir le schéma d'implantation.

Le schéma d'implantation des capteurs devra tenir compte des zones particulières de l'équipement à contrôler telles que :

- discontinuités (piquages, soudures, pieds, plaques, ...),
- réparations(s),
- support(s),
- défaut(s) identifié(s).

Le choix d'implantation des capteurs est conditionné par la vérification sur l'équipement des modes et de la vitesse de propagation dans l'ESP, conformément au § 7.6.1.

Dans tous les cas, il sera nécessaire de justifier le choix de l'implantation retenue en indiquant quel est le mode de localisation retenu, en s'appuyant sur la courbe d'atténuation caractéristique et les conditions d'essai. Une vérification des performances de la localisation sera réalisée, par méthode Hsu-Nielsen (voir § 7.6.1), préalablement à l'essai.

7.5.4. Mise en place des capteurs sur l'ESP

Ce paragraphe doit décrire les opérations à appliquer pour la mise en place des capteurs sur l'équipement.

Ce paragraphe doit comporter a minima les informations suivantes :

- les modalités d'accès (carottage, démontage du calorifuge,...),
- le couplant utilisé (compatible avec l'ESP et la température de la paroi),
- la préparation des surfaces où sont implantés les capteurs (nettoyage, ponçage, dégraissage, ...) de façon à obtenir le meilleur couplage possible,
- le mode opératoire de la mise en place des capteurs, qui devra être en conformité avec la norme NF A09-355 ou équivalente,
- le mode de fixation des capteurs sur l'appareil (dispositif mécanique, magnétique, ...).

7.5.5. Réglages de l'instrumentation (chaîne d'acquisition) et conditions d'acquisition

Ce paragraphe doit décrire a minima les paramètres d'acquisition suivants ainsi que la méthodologie utilisée pour les obtenir :

- le gain du préamplificateur et gain global de la chaîne d'acquisition,
- les caractéristiques des filtres d'acquisition,
- la valeur maximale du seuil d'acquisition qui doit être inférieure ou égale au seuil d'évaluation et supérieure à la valeur du bruit de fond (voir § 7.6.1.3). Il faudra veiller

à fixer la valeur du seuil d'acquisition le plus bas possible de façon à ne pas pénaliser la localisation de sources dont l'amplitude est proche du seuil d'évaluation.

Note : L'utilisation d'un seuil variable (flottant) n'est pas autorisée au titre du présent guide.

7.6. MODE OPÉRATOIRE

Ce paragraphe doit détailler les conditions générales requises, et en particulier la méthode de gestion des écarts.

7.6.1. Vérifications préliminaires

7.6.1.1 Vérification de la sensibilité des voies

Une vérification de la sensibilité des capteurs doit être effectuée pour chacune des voies par une méthode normalisée et enregistrée.

Sauf précision contraire dans les annexes, la simulation d'une source d'émission acoustique Hsu-Nielsen est réalisée au moyen d'une mine de graphite 2H de 0,5 mm de diamètre et de 3.0 ± 0.5 mm de longueur, maintenue par un embout approprié.

La sensibilité ne doit pas différer de plus de 3 dB autour de la moyenne et doit être supérieure à une valeur minimale spécifique à chaque type de capteur

L'auto-calibration peut être utilisée pour s'assurer des dérives de la sensibilité au cours de l'essai. Cette possibilité ne doit pas gêner la mesure ou son interprétation.

Cet essai de vérification doit être enregistré aussi bien en début qu'en fin d'essai.

Note :

Lorsque cette vérification préalable est réalisée antérieurement au jour de l'essai, elle doit être répétée avant le début de l'essai.

Lors d'un essai de longue durée, cette vérification doit être réalisée à périodicité maximum de 24 heures.

7.6.1.2 Vérification de la localisation

Une vérification de la localisation dans les zones de discontinuité (piquages, pieds, soudures, plaques, ...) doit être effectuée sur les parties accessibles de l'équipement et enregistrée.

Note : Cette opération permet de valider le schéma d'implantation des capteurs.

7.6.1.3 Vérification de la valeur du bruit de fond

La valeur du bruit de fond doit être vérifiée et enregistrée juste avant la mise sous pression de l'équipement de façon à s'assurer qu'elle est inférieure au seuil d'acquisition diminué d'au moins 4 dB sauf exigence plus contraignante précisée en annexe.

7.6.1.4 Identification et élimination des sources parasites

Les sources parasites doivent être identifiées et, soit éliminées, soit prises en compte lors de la validation de l'essai.

7.6.2. Suivi de l'essai

Ce paragraphe doit définir les paramètres sélectionnés pour le suivi de l'essai selon la liste indiquée dans l'annexe correspondante :

- les conditions de validation de l'essai (seuil d'évaluation, ...),
- les critères d'analyse en temps réel,
- les critères d'arrêt en cours d'essai.

Toute observation, modification ou anomalie relevée en cours d'essai doit être enregistrée et consignée dans le rapport.

Sauf justifications, lors de l'essai de pressurisation, les données acoustiques doivent être enregistrées sur un seul et même fichier afin de pouvoir suivre, en cours d'essai, l'évolution des paramètres d'analyse en temps réel sur l'entièreté du cycle.

7.6.3. Vérification de la sensibilité des voies en fin d'essai

En fin d'essai une vérification de la sensibilité de chaque voie doit être effectuée dans les mêmes conditions qu'en début d'essai, et enregistrée afin d'évaluer l'apparition d'une éventuelle dérive durant l'essai. En cas de dérive supérieure à 6 dB, le responsable d'essai devra analyser les causes avant démontage et en référer au personnel AT3 qui devra prendre en compte cette information lors de l'interprétation des résultats.

7.6.4. Démontage

Ce paragraphe doit indiquer si le matériel d'émission acoustique est démonté ou non après essai.

7.6.5. Procès-verbal de fin d'essai

Ce paragraphe doit indiquer qu'un procès-verbal de fin d'essai est établi par le prestataire.

7.7. ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES DONNÉES

Ce paragraphe doit indiquer les paramètres, et critères d'évaluation sélectionnés pour l'analyse et l'interprétation des données et les résultats obtenus.

7.8. RAPPORT

Ce paragraphe doit définir les éléments contenus dans le rapport final et les délais de fourniture de délivrance de ce rapport.

7.9. ARCHIVAGE

Ce paragraphe doit préciser les modalités de stockage (type de support, durée, accessibilité, ...) des données manuscrites et informatiques liées à l'examen.

8. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS ET CRITÈRES

8.1. INTRODUCTION

La liste des normes et codes disponibles est détaillée en annexe 1.

Les critères limites des conditions d'acquisition par famille d'équipements à tester sont précisés dans les annexes du guide. Ces conditions doivent être vérifiées par le prestataire avant l'essai.

Les valeurs des critères d'émission acoustique sont intégralement décrites dans le guide, elles sont données :

- soit sous forme numérique,
- soit sous une formulation algébrique dépendante de la famille et/ou de la simulation préalable.

Tous les critères et autres paramètres doivent être reproduits dans le rapport d'essai, tel que spécifié dans le guide.

Les données enregistrées lors d'un essai sont analysées et interprétées par le prestataire en cours et après l'essai.

Celui-ci identifie et localise les sources émissives de la structure et précise pour chacune d'elles :

- le niveau de criticité en référence aux critères retenus et aux seuils critiques portés dans des procédures d'examen,
- si elle a ou non été précédemment détectée.

Pour les sources précédemment détectées, il analyse l'éventuelle évolution de leurs caractéristiques par comparaison aux résultats des essais antérieurs.

8.2. CRITÈRES ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Les critères sont définis pour une famille d'ESP en fonction de l'objectif du contrôle (première pressurisation, requalification, suivi en service, ...) en prenant en compte l'historique de l'équipement (pressions, dégradations, inspections, réparations, ...) et ses conditions réelles de service.

Les valeurs numériques des critères doivent être portées dans la procédure spécifique au contrôle ou dans un document annexe référencé dans la procédure, sur la base des exigences portées en annexe du présent guide.

Le type d'instrumentation utilisé doit être compatible avec les critères retenus.

Les paramètres les plus influents sur les critères sont :

- l'émissivité du matériau et l'atténuation dans le matériau,
- la réponse du capteur,
- la vitesse d'acquisition de la chaîne EA,
- les paramètres d'acquisition et de séparation des salves EA,
- les seuil(s) et gain(s),
- la méthode de détermination des paramètres retenus (énergie, ...).

La validation des paramètres d'acquisition et de séparation des salves doit être réalisée avant l'essai en vérifiant qu'une source simulée est détectée et caractérisée correctement par le premier capteur atteint (sans réflexion, le nombre de salves enregistrées doit correspondre au nombre de salves simulées).

Il faut également distinguer les conditions de validation de l'essai (§ 8.2.2), des critères d'évaluation des données (§ 8.2.3, § 8.2.4 & § 8.2.5). Les conditions de validation permettant l'application des critères d'évaluation doivent être précisées dans la procédure spécifique au contrôle ou dans un document annexe référencé dans la procédure. Une analyse des écarts par rapport à la procédure sera consignée dans le rapport.

Il faut distinguer trois types de critères d'évaluation des données :

- (1) critères d'alarme en temps réel,
- (2) critères d'arrêt en cours d'essai :
 - soit pour un arrêt, ou suspension, de l'essai prévu dans la procédure (critères d'acceptation/rejet, ...),
 - soit du fait d'un dysfonctionnement affectant l'acquisition (bruits extérieurs, fuite, problème d'appareillage, problème pour l'application de la sollicitation, circonstances externes : météo, ...), dont la cause devra être identifiée et ramenée dans des limites acceptables de façon à ne plus perturber l'acquisition et poursuivre l'essai,
 - soit pour un danger imminent (évolution critique des sources d'EA),
- (3) critères d'analyse en temps différé permettant, selon la procédure, d'affecter la sévérité des zones et sources d'EA et d'émettre le diagnostic final.

Ces critères permettent de caractériser la sévérité des sources et/ou des zones d'émission acoustique conformément au § 8.2.6.

8.2.1. Liste des principaux critères d'analyse

Conformément aux codes et normes cités dans la procédure, avec les éventuelles adaptations nécessaires à un essai, l'analyse et l'interprétation des données s'appuient sur tout ou partie des résultats et critères d'évaluation suivants :

1. Niveau du bruit de fond avant l'essai et pendant l'essai.
 2. Historique du niveau du bruit de fond en fonction du temps et/ou de la sollicitation.
 3. Distribution d'amplitude.
 4. Historique de l'activité : salves et/ou événements en fonction du temps et/ou de la sollicitation.
 5. Historique de l'intensité : amplitude, énergie, nombre de coups, durée, ... en fonction du temps et/ou de la sollicitation.
 6. Évolution de l'amplitude en fonction du temps et/ou de la sollicitation.
 7. Émission durant les paliers (salves et/ou événements).
 8. Sollicitation en fonction du temps.
 9. Vérification de l'effet Kaiser.
 10. Nombre de salves et/ou événements, après "x" (*) min de palier et pendant "y" (*) min de palier, d'amplitude supérieure ou égale à un seuil donné.
 - 11.
 12. Nombre de salves et/ou événements d'amplitude supérieure ou égale au seuil d'évaluation.
 13. Nombre de salves et/ou événements d'amplitude ou d'énergie supérieure ou égale au seuil de référence.
 14. Caractérisation de l'écart de l'effet Kaiser (calcul du rapport des charges).
 15. Sources localisées (cluster)
- Lorsque la correction d'amplitude en fonction de la distance source-capteur est réalisée, la méthode utilisée doit être décrite.
16. D'autres critères peuvent être retenus lorsque des méthodes spécifiques d'analyse du signal et des données le permettent (la méthode doit être précisée).

(*) x et y sont définis dans la procédure

8.2.2. Conditions de validation de l'essai

Les différents paramètres utilisés pour la validation de l'essai sont (voir § 8):

- le bruit de fond (niveau continu et taux d'activité),
- la vitesse de sollicitation en % de la pression maximale de l'essai par minute (valeurs minimale et maximale),
- la stabilité des paliers (variation en % de la pression du palier),
- le seuil d'acquisition en dB_{EA},
- la stabilité de la sensibilité de détection de l'ensemble de la chaîne d'acquisition et notamment la qualité du couplage.

Les valeurs limites acceptables pour chaque paramètre doivent être indiquées dans la procédure spécifique au contrôle ou dans un document annexe référencé dans la procédure sur la base des exigences du présent guide.

Les non-conformités doivent être traitées par le responsable d'essai en accord avec le donneur d'ordre et l'organisme habilité le cas échéant. Leurs influences sur la validité de l'essai et sur l'utilisation des critères d'analyse doivent être clairement indiquées dans le rapport (§ 9).

Avant de démarrer le cycle de sollicitation, un enregistrement du bruit de fond est réalisé pendant un temps déterminé, conformément à la procédure d'essai, afin de déterminer le niveau d'activité à la pression de début de cycle, et d'en identifier l'origine. Si cette activité ne peut être ramenée à un niveau inférieur au seuil d'évaluation (qui doit être précisé dans la procédure), son influence sur la faisabilité de l'essai doit être évaluée.

La valeur du seuil d'acquisition doit être inférieure ou égale au seuil d'évaluation conformément au § 7.5.5. Elle conditionne également la zone couverte par les capteurs.

La pression est enregistrée et le cycle de sollicitation est comparé à celui prévu par la procédure.

Lorsque le cycle de sollicitation comporte des paliers, la perte de pression acceptable au cours d'un palier du cycle de sollicitation doit être précisée en pourcentage de la pression du palier.

Note : Pour les installations permanentes (capteur à demeure ou guide d'ondes),

- *dans le cas d'une défaillance d'un point de mesure avec impossibilité technique de réparation ou remplacement,*
- *dans le cas d'une augmentation de l'atténuation dans le temps avec impossibilité technique de réparation ou remplacement, des dispositions particulières doivent être prises par le niveau 3 afin d'assurer la couverture complète de l'ESP : l'abaissement des valeurs des seuils d'évaluation et de référence d'un même écart permet d'augmenter la dimension de la zone couverte par chaque capteur. L'abaissement des seuils doit être, au minimum, réalisé sur les capteurs voisins du ou des capteur(s) défaillant(s). Le seuil d'acquisition doit être adapté en conséquence. Le nouveau rayon d'écoute à la nouvelle valeur du seuil d'évaluation doit être justifié à partir de la courbe d'atténuation et indiqué dans le rapport. L'impact de ces modifications sera analysé. Les critères de validation de la localisation zonale ou planaire doivent être respectés. Les valeurs des critères de définition de catégories des zones ne sont pas modifiées.*

8.2.3. Paramètres d'analyse en temps réel

En temps réel, les principaux paramètres pouvant être observés sont :

- l'évolution du niveau de bruit de fond,
- l'évolution de l'activité et de l'intensité (énergie, nombre de coups, durée, ...) de l'émission acoustique globale de la structure en fonction des variations de la sollicitation,
- l'activité et l'intensité en palier de sollicitation,
- la vérification de l'effet Kaiser ou la caractérisation de son écart par le rapport des charges,
- la localisation de l'émission acoustique (zonale et/ou linéaire et/ou planaire),
- l'évolution de l'activité acoustique et de l'intensité des zones et/ou des sources localisées en fonction du temps et/ou de la sollicitation.

8.2.4. Critères d'arrêt en cours d'essai

8.2.4.1 Perturbations et anomalies d'acquisition

Les principales perturbations pouvant remettre en cause l'acquisition sont :

- une détection permanente de signaux au seuil d'évaluation,
- une variation trop importante du niveau de bruit de fond en palier,
- la saturation du système d'EA,
- un dysfonctionnement du système d'acquisition d'EA (pas de détection, problème informatique, perturbations du réseau d'alimentation électrique, ...),
- le non-respect du cycle de sollicitation (vitesse, stabilité des paliers, ...),
- les conditions météorologiques (pluie, vent, gel, ...) entraînant une activité EA parasite rédhibitoire pour l'analyse des données,
- une température hors des limites des conditions de fonctionnement de l'instrumentation EA ou des conditions fixées par la procédure.

Le responsable d'essai doit assurer une surveillance permanente de l'évolution des données d'EA.

8.2.4.2 Critères d'alarme temps réel

La décision de continuer la sollicitation ou de diminuer la vitesse de sollicitation, de faire un palier ou de diminuer la sollicitation, pour une évaluation ultérieure et/ou la mise en œuvre d'un contrôle non destructif, doit être basée sur des considérations et des seuils d'alarme à définir dans les annexes spécifiques, tels que :

- une évolution anormale du niveau de bruit de fond,
- une évolution critique de l'activité (N) et/ou de l'intensité (I),
- un nombre de salves (N_{1s}) et/ou événements (N_{1e}) d'amplitude supérieure ou égale au seuil d'évaluation, supérieur à une valeur donnée (E_{is} et/ou E_{ie}), définie en annexe,
- un nombre de salves (N_{2s}) et/ou événements (N_{2e}) d'amplitude supérieure ou égale au seuil référence, supérieur à une valeur donnée (E_{rs} et/ou E_{re}), définie en annexe,
- la non-stabilisation de l'activité EA en palier au-dessus d'un seuil donné, le nombre de salves (N_{3s}) et/ou d'événements (N_{3e}) détectés en palier supérieur à une valeur donnée (E_{ps} et/ou E_{pe}), définie en annexe,
- la non-vérification de l'effet Kaiser,
- des sources localisées (cluster) trop actives (nombre d'événements supérieur à une valeur donnée N_c) et/ou trop intenses (intensité des événements supérieure à une valeur donnée I_c).

8.2.4.3 Danger imminent

Une décision d'arrêt de l'essai doit être prise, dans le cas d'une aggravation de la sévérité de l'EA en cours de cycle de sollicitation :

- dépassement des critères d'arrêt préalablement définis dans l'annexe spécifique correspondante (valeurs supérieures aux seuils d'alarme définis au § 8.2.4.2),
- apparition d'une émission permanente de type continu sur une durée donnée.

La reprise de l'essai dépend de l'analyse des raisons ayant conduit à l'arrêt, du diagnostic réalisé et éventuellement des essais non destructifs appropriés effectués.

Le donneur d'ordre décide la reprise de l'essai, sur proposition du responsable d'essai.

Tableau 2 : Synthèse des principaux critères des § 8.2.4.2 & 8.2.4.3

	Critères temps réel	
	Alarme (a)	Arrêt (d)
Bruit de fond (évolution)	$+X_a$	$+X_d$
Activité (évolution) (1)	$\Delta N/\Delta P$	$\Delta N/\Delta P$
Intensité (évolution) (1)	$\Delta I/\Delta P$	$\Delta I/\Delta P$
N_1 (1)	$\geq E_{ia}$	$\geq E_{id}$
N_2 (1)	$\geq E_{ra}$	$\geq E_{rd}$
N_3 (1)	$\geq E_{pa}$	$\geq E_{pd}$
Rapport de charge (Effet Kaiser)	$< R_{fa}$	$< R_{fd}$
Cluster Activité (1)	$\geq N_{ca}$	$\geq N_{cd}$
Cluster Intensité (1)	$\geq I_{ca}$	$\geq I_{cd}$

(1) paramètre à préciser dans les annexes :

(s) : salves

(e) : événements

8.2.5. Critères d'analyse en temps différé et interprétation des données

L'ensemble des données enregistrées est ensuite traité et analysé pour réaliser le diagnostic de l'examen.

Le prestataire doit consigner, dans le rapport final (§ 9), la (les) méthode(s) d'analyse appliquée(s) pour l'interprétation des résultats :

- le type de filtrage,
- le type de localisation :
 - analyse zonale où chaque zone couverte par un capteur est considérée individuellement
 - analyse en localisation qui utilise des algorithmes de localisation linéaire et/ou planaire, avec une correction éventuelle de l'amplitude en fonction de la distance,
- le seuil d'évaluation et les autres seuils en amplitude utilisés (en dB_{EA}) pour l'analyse des données définis préalablement à l'essai dans le respect des exigences du présent guide,
- les résultats, critères retenus et seuils utilisés suivant la liste du § 8.2.1.

8.2.6. Classification

Sur la base des critères et des seuils associés décrits dans le guide par type d'équipements, un diagnostic de la sévérité des zones et/ou des sources d'émission acoustique doit être établi suivant une méthodologie à préciser. A cette évaluation, pour chaque classe de sévérité, des recommandations d'action doivent être associées.

Les critères doivent permettre de caractériser la sévérité des zones et/ou sources suivant des classes regroupées en trois catégories :

Catégorie 1 : sources et/ou zones non-significatives ;

Catégorie 2 : sources et/ou zones pour lesquelles des investigations complémentaires sont recommandées ;

Catégorie 3 : sources et/ou zones critiques pour lesquelles des investigations complémentaires doivent être effectuées.

Les zones et/ou sources EA doivent être repérées (localisées) par rapport à l'équipement.

Pour les sources et/ou zones classées en catégories 2 et 3, la nature des investigations complémentaires recommandées ou à effectuer doit être spécifiée.

Cas de la requalification périodique d'un ESP :

Pour les sources et/ou zones classées en catégorie 2, le prestataire analysera plus finement les résultats pour déterminer les régions de l'ESP où des investigations complémentaires doivent être effectuées.

Tous les critères utilisés doivent être indiqués dans le rapport. En particulier, si des critères pour classer les zones ou les sources ne sont pas utilisables et bien que l'essai ait été validé conformément au § 8.2.2, le prestataire doit préciser dans quelle mesure sa méthode de classification reste applicable.

Le classement final des sources et/ou zones d'EA doit être réalisé par le responsable de l'essai en référence au classement indiqué ci-avant. Un logiciel informatique spécifique peut être utilisé en complément pour fournir une évaluation automatique des zones et/ou sources EA à partir de la base de données. Dans ce cas les algorithmes de calcul du logiciel sont précisés dans un document annexé et référencé dans le rapport.

Note : Lorsqu'un prestataire applique un classement des sources ou zones qui lui est spécifique préalablement à leur affectation en catégories 1, 2, 3, il est recommandé que celui-ci soit fait en retenant des lettres (A, B, C, D) ou des chiffres (I, II, III, IV) en ordre croissant de sévérité.

9. RAPPORT FINAL

Les résultats doivent faire l'objet d'un rapport du prestataire qui doit contenir, au moins, les éléments suivants :

- l'identification du prestataire,
- l'identification du donneur d'ordre (société et service),
- l'identification du site de l'examen (adresse),
- l'identification de l'équipement sous pression : référence (n° propriétaire, n° de construction), type, nom du fabricant,
- les caractéristiques de l'ESP et des valeurs PMA, retenues,
- la date de l'examen,
- le but de l'examen et type d'essais,
- les références des documents applicables, (procédures, spécifications, ...),
- le descriptif de l'instrumentation, (fabricant, modèle, identification, type de préamplificateurs et n° de série type de capteurs et n° de série avec leurs fréquence et sensibilité, nature du couplant et type d'assemblage des guides d'ondes si utilisés),

- les conditions opératoires sur le site (croquis de la position des capteurs, cycle de sollicitation, paliers de pression, niveau de remplissage de l'appareil, type de fluide utilisé),
- les caractéristiques du capteur de pression et du système de lecture de la pression (coefficient multiplicateur, précision, incertitudes),
- la vérification et réglages préliminaires (niveau de bruit de fond, atténuation, sensibilité, localisation, ...),
- la position des principales zones de discontinuité sur un schéma de l'ESP,
- les observations au cours de l'essai,
- la conformité de l'essai par rapport à la procédure et traitement des écarts,
- l'analyse des données EA,
- l'interprétation des résultats comportant l'emplacement et la gravité relative des sources d'émission acoustique significatives,
- l'analyse de l'évolution des sources d'émission acoustique précédemment identifiées (comparaison avec les résultats précédents),
- le nom, qualification et certification des opérateurs,
- le nom, qualification, certification et signature du responsable de l'essai,
- le nom, qualification, certification et signature de l'approbateur du rapport,
- les types de données enregistrées (signaux de base ou post-traités) et leurs modalités de stockage (lieu, durée, ...),
- tous les paramètres et informations permettant d'assurer la reproductibilité,
- les conclusions et suggestions.

Le prestataire doit remettre les résultats ainsi que leur interprétation d'émission acoustique au donneur d'ordre.

Il émet, si demandé par le donneur d'ordre, des suggestions de "suites à donner" quant à la nature et à l'étendue des essais non destructifs complémentaires à mettre en œuvre pour caractériser l'origine des sources nécessitant un complément d'investigation.

10. UTILISATION DU RAPPORT FINAL

10.1. PRÉAMBULE

Il s'agit de "l'utilisation du rapport final" suite à un essai réalisé sur un équipement :

- a) soit neuf pour le "qualifier", le plus souvent lors de la première épreuve de réception en atelier ou sur site,
- b) soit en service lors :
 - de la mise en service,
 - d'une ré-épreuve ou d'une requalification pour une unité en exploitation ou à l'arrêt,
 - d'un suivi en service de l'émissivité d'une source préalablement détectée,
 - d'un suivi en temps réel en conditions normales d'exploitation.

L'exploitation des résultats est faite :

- a) dans le cas d'un essai de qualification : par le service contrôle du fabricant ou l'organisme ayant été mandaté par lui,
- b) dans le cas d'un essai en exploitation par :
 - organisme habilité pour les ré-épreuves et requalifications réglementaires,
 - le service inspection de l'exploitant ou un organisme tiers mandaté par l'exploitant dans les autres cas.

Dans l'un et l'autre cas, les résultats sont exploités d'abord sous l'aspect "caractérisation des sources d'émission acoustique", puis en termes de "suite à donner" tels que les contrôles

complémentaires, la remise en service en l'état de l'équipement, la réalisation de réparations ou modifications, le déclassement, le rebut, ...

Le rapport d'émission acoustique et des éventuels contrôles CND complémentaires sera intégré au dossier de l'équipement.

10.2. ÉQUIPEMENTS NEUFS

Les résultats des contrôles et essais non destructifs réalisés sur un équipement en cours et en fin de fabrication sont exploités par le "*Service contrôle*" du fabricant ou l'organisme mandaté qui doit s'assurer de leur conformité face aux exigences applicables à la fabrication.

Les résultats d'un contrôle par émission acoustique effectué lors d'une épreuve ou d'un test de qualification font partie de l'ensemble des résultats des contrôles de fabrication tels ceux réalisés par ultrasons, magnétoscopie, radiographie, ... qui doivent être exploités par le fabricant.

Si, l'interprétation des résultats de l'essai par émission acoustique demande des contrôles complémentaires qui permettent de localiser des défauts non acceptables selon les critères des documents contractuels, des réparations doivent être réalisées. Celles-ci doivent être suivies d'une nouvelle qualification menée avec ou sans suivi par émission acoustique (par écoute globale de l'équipement ou par écoute limitée aux seules zones réparées).

Le fabricant remet à l'acheteur de l'équipement, le dossier qui inclut les rapports des essais, et si demandé, les données brutes enregistrées. Ces éléments permettent à l'exploitant de maîtriser le "point zéro" de la structure sous l'aspect "émission acoustique", dont la connaissance est utile pour suivre dans le temps l'évolution relative des sources éventuellement détectées et/ou enregistrées.

10.3. ÉQUIPEMENTS EN EXPLOITATION

La surveillance en service des ESP est confiée par l'exploitant, dans le respect des exigences réglementaires et règles internes de suivi, soit à un service d'inspection interne, soit à un tiers mandaté.

La mise en œuvre des essais non destructifs et notamment de l'émission acoustique est réalisée par des contrôleurs internes ou confiée à des prestataires externes. Ceux-ci doivent disposer de la compétence et de l'expérience adaptées à la spécificité de l'essai. Les résultats obtenus sont archivés.

- La maîtrise de l'aptitude au service d'un ESP s'appuie sur l'interprétation d'un ensemble d'informations regroupées dans le dossier de vie de l'équipement, appelé le plus souvent "historique". En règle générale, la réalisation du contrôle par émission acoustique sur un équipement sous pression en service ne nécessite pas l'existence d'un essai de référence ou 'point zéro' juste après la fabrication de cet équipement. La signature de référence sera déterminée par le premier contrôle par émission acoustique réalisé sur l'équipement.

Note : certains aménagements réglementaires imposent des exigences complémentaires.

Ces informations concernent par exemple :

- la connaissance des éléments de conception (dimensionnement, matériaux utilisés), de fabrication, nature des traitements thermiques, de surface, type d'assemblages, ...

- les contrôles de fabrication et de réception finale : natures, étendues, résultats disponibles, ...
- le "point zéro" de l'installation de l'équipement sur site (conformité des supportages, sollicitations aux liaisons, ...),
- les conditions d'exploitation,
- les risques attachés à l'exploitation, les modes de dégradation potentiels (qu'ils soient internes et/ou externes à l'équipement), ainsi que la maîtrise de ces risques
- l'environnement de l'équipement
- les suivis réalisés lors des inspections et requalifications, en marche ou au cours des arrêts,
- l'exploitation des résultats des essais non destructifs réalisés,
- les interventions de maintenance réalisées.

Les résultats des examens par émission acoustique constituent l'une des informations qui, sur la base d'une analyse en tendance d'un essai au suivant, permettent de conclure quant à l'aptitude au maintien en service de l'équipement après l'essai.

C'est sur la base d'une analyse globale de toutes ces informations que le service inspection de l'exploitant ou le tiers mandaté recommande la nature et l'étendue des interventions éventuelles à mettre en œuvre, les modalités de remise et de suivi en service à réaliser pour assurer la sûreté d'exploitation.

ANNEXE 1 : NORMES, CODES, TEXTES RÉGLEMENTAIRES

1. LISTE DES NORMES AFNOR

NF A 09-351	Essais non destructifs - Émission acoustique - Pratiques recommandées pour la localisation des sources d'émission acoustique (juillet 1984)
NF A 09-352	Essais non destructifs - Émission acoustique - Pratique recommandée pour la détection de fuites (Novembre 1987)
NF A 09-355	Essais non destructifs - Émission acoustique - Couplage des capteurs piézo-électriques (août 1985)

2. LISTE DES NORMES EUROPÉENNES

NF EN ISO 9712 :	Essais non destructifs - Qualification et certification du personnel END (Aout 2012)
EN 1330-9	Essais non destructifs - Terminologie – Partie 9 : Termes utilisés en contrôle par émission acoustique (2009)
EN 13477-1	Essais non destructifs - Émission Acoustique - Caractérisation de l'équipement - Partie 1 : Description de l'équipement (2001)
EN 13477-2	Essais non destructifs - Émission Acoustique - Caractérisation de l'équipement - Partie 2 : Vérification des caractéristiques de fonctionnement (2011)
EN 13554	Essais non destructifs - Émission Acoustique - Principes généraux (2011)
EN 14584	Essais non destructifs - Émission Acoustique - Vérification des équipements métalliques sous pression pendant l'épreuve - Localisation planaire des sources d'émission acoustique (2013)
EN 15495	Essais non destructifs - Émission Acoustique - Vérification des équipements métalliques sous pression pendant l'épreuve - Localisation par zone des sources d'émission acoustique (2008)
EN ISO 16148	Bouteilles à gaz - Bouteilles à gaz rechargeables en acier sans soudures - Essai par émission acoustique pour contrôle périodique (2006)
EN ISO/IEC 17025	Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais (2005)

3. LISTE DES NORMES ASTM (American Society for Testing and Materials)

ASTM E 569	Standard Practice for Acoustic Emission Monitoring of Structures during Controlled Stimulation (2013)
ASTM E 650	Standard Guide for Mounting Piezoelectric Acoustic Emission Sensors (2012)
ASTM E 750	Standard Practice for Characterizing Acoustic Emission Instrumentation (2010)

ASTM E 976	Standard Guide for Determining the Reproducibility of Acoustic Emission Sensor Response (2010)
ASTM E 1067	Standard Practice for Acoustic Emission Examination of Fiberglass Reinforced Plastic Resin (FRP) Tanks/Vessels (2011)
ASTM E 1106	Standard Test Method for Primary Calibration of Acoustic Emission Sensors (2012)
ASTM E 1118	Standard Practice for Acoustic Emission Examination of Reinforced Thermosetting Resin Pipe (RTRP) (2011)
ASTM E 1211	Standard Practice for Leak Detection and Location Using Surface-Mounted Acoustic Emission Sensors (2012)
ASTM E 1316	Standard Terminology for Non-Destructive Examination Section B (2014)
ASTM E 1419	Standard Test Method for Examination of Seamless, Gas-Filled Pressure Vessels Using Acoustic Emission (2009)
ASTM E 1781	Standard Practice for Secondary Calibration of Acoustic Emission sensors (2013)
ASTM E 2374	Standard Guide for Acoustic Emission System Performance Verification (2010)

4. LISTE DES NORMES ISO

ISO 12713	Essais non destructifs - Contrôle par émission acoustique - Étalonnage primaire des transducteurs (1998)
ISO 12714	Essais non destructifs - Contrôle par émission acoustique - Étalonnage secondaire des capteurs d'émission acoustique (1999)

5. CODES DE CONSTRUCTION DES APPAREILS A PRESSION

5.1. CODAP 2015

Annexe CEA 11 Examen par émission acoustique

5.2. ASME 2015

Section V, Article 11 Acoustic Emission Examination of Fibre-Reinforced Plastic Vessels

Section V, Article 12 Acoustic Emission Examination of Metallic Vessels during Pressure Testing

Section V, Article 13 Continuous Acoustic Emission Monitoring

Section V, Article 29 Acoustic Emission Standards

Section VIII, Div. 1 Code Case 1968-1 Use of Acoustic Emission in Lieu of Radiography (2004)

6. LISTE DES TEXTES RÉGLEMENTAIRES

- **Code de l'environnement**, notamment le chapitre VII du titre V de son livre V
- **Décret n°99-1046 du 13 décembre 1999** relatif aux équipements sous pression
- **Arrêté du 15 mars 2000** relatif à l'exploitation des équipements sous pression
- **Décision BSEI n° 06-080 du 6 mars 2006** relative aux conditions d'application de l'arrêté du 15 mars 2000
- **Décision BSEI n° 09-102 du 29 juin 2009** relative au remplacement de l'épreuve hydraulique, lors de la requalification périodique de certains équipements sous pression, par un essai sous pression de gaz contrôlé par émission acoustique, modifiée par la **décision BSEI n° 14-110 du 31 octobre 2014**
- **Décision BSEI n° 10-018 du 15 février 2010** relative à la reconnaissance d'un cahier technique professionnel relatif au suivi en service des équipements sous pression à couvercle amovible utilisés dans l'industrie aéronautique et spatiale
- **Décision BSEI n° 12-087 du 15 juin 2012** relative à l'approbation d'un cahier technique professionnel relatif aux récipients aériens sous pression revêtus d'une protection ignifuge
- **Décision BSEI n° 13-028 du 21 mars 2013** relative à la reconnaissance d'un cahier technique professionnel pour le contrôle en service des réservoirs sous talus

7. AUTRES DOCUMENTS

- Essais Non Destructifs - Émission Acoustique - Mise en œuvre et applications par James Roget AFNOR/CETIM (1988)
- NDIS 2109: Method for absolute calibration of AE transducers by reciprocity technique (1991)
- Calibration of Acoustic Emission Transducers by a Reciprocity Method (H. Hatano ASTM E07.04 Publication 1999)

ANNEXE 2 : EXEMPLES D'ÉQUIPEMENTS CONTRÔLÉS PAR ÉMISSION ACOUSTIQUE

Type Structure	Matériaux et Revêtement (adhérent)	Environnement	Contenu Nature Etat (1)	Conditions d'Exploitation P [bar] / T [°C]	But de l'essai Objectif	Code/Procédure
SPHÈRE STOCKAGE	Ac C	AÉRIEN	GPL L/G	12 bar/20°C	Réception	ASME V-12
SPHÈRE STOCKAGE	Ac C/Epoxy	TALUS	GPL L/G	10 bar/20°C	Requalification	GBP EA : Annexe 3
RÉSERVOIR PETIT VRAC	Ac C/Epoxy	ENTERRE	Propane L/G	17 bar/20°C	Maintien service	GBP EA : Annexe 4
CANALISATION COMPOSITE	SVR (Stratifié Verre Résine)	AÉRIEN	Hydrocarbures L	20 bar/20°C	Qualification	CARP / ASTM E 1118, E 1067
CIRCUIT PRIMAIRE NUCLÉAIRE	Inox	CALORIFUGE	Eau L	155 bar/340°C	Réception/contrôle période	RSEM 97
ESP CYLINDRIQUE	Ac C	AÉRIEN	HC	30 bar/50°C	Requalification	GBP EA : Annexe 6
ESP CYLINDRIQUE	Composite	AÉRIEN	Hydrogène G	700 bar/20 °C	Requalification	GBP EA : Annexe 7
RÉACTEUR	Aciers faiblement alliés	AÉRIEN	Catalyseur Essence Hydrogène	30 bar/500°C	Requalification	GBP EA : Annexe 8
ESP CYLINDRIQUE	Acier inoxydable	AÉRIEN	Oxygène G	12 bar/450 °C	Requalification	GBP EA : Annexe 8 + Annexe 10
AUTOCLAVE	Ac C	AÉRIEN	Air	10 bar/250 °C	Requalification	GBP EA : Annexe 9A /B
AUTOCLAVE	Ac C	AÉRIEN	Azote G	16 bar/470°C	Requalification et inspection périodique	GBP EA : Annexe 9B
ÉCHANGEUR	Ac C	AÉRIEN	Azote G	44 bar/120 °C	Requalification	GBP EA : Annexe 11

(1) - liquide (L)
- gaz (G)

ANNEXE 3 : MÉTHODOLOGIE À APPLIQUER POUR L'ÉLABORATION D'UNE PROCÉDURE APPLICABLE AUX SPHÈRES

1. OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

Cette annexe s'applique aux ESP du type sphère soudé, revêtu (interne et/ou externe), aériens, calorifugés*, ignifugés*, sous talus* en acier non allié de limite d'élasticité inférieure ou égale à 460 MPa, d'épaisseur inférieure à 100 mm**, simple paroi, dont la température de paroi est comprise entre $TS_{min} = -40\text{ °C}$ et $TS_{max} = 150\text{ °C}$, contenant des fluides liquides et/ou gazeux.

Le cas de l'épreuve de réception, réalisée en fin de fabrication, n'est pas traité.

La présente annexe s'applique notamment au cas des requalifications périodiques des sphères à l'arrêt ou en service pour le remplacement de l'épreuve hydraulique par un autre essai de résistance sous pression.

La mise sous pression peut être hydrostatique ou pneumatique à l'occasion d'un arrêt d'exploitation de l'équipement. L'essai peut être réalisé avec le fluide de service ou avec tout autre fluide, hors circulation du fluide.

Note : Compte tenu des évolutions susceptibles de se produire au voisinage immédiat d'un équipement sous talus (tassement du remblai, adaptations locales au droit des supports, ...), le comportement des équipements peut être affecté et de ce fait, l'interprétation des résultats pourra tenir compte de ces évolutions.

* : dans les limites décrites au § 4 (examen global de l'équipement)

** : la limite de 100 mm tient compte du retour d'expérience, cette valeur n'est pas une limite de la méthode EA. Pour des équipements de plus forte épaisseur, les critères peuvent éventuellement être adaptés par le prestataire.

2. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

Les documents utilisés pour la rédaction de la présente annexe sont ceux de l'annexe 1 du GBP.

3. DESCRIPTION DE L'INSTRUMENTATION ET RÉGLAGES

3.1. Capteurs :

Les capteurs sont du type résonant dans la bande de fréquence 70 – 400 kHz avec une sensibilité minimale, à la fréquence de résonance, de 55 dB ref. volt/mètre/seconde (source transitoire) ou de – 80 dB ref. 1 volt/microbar.

Une réception (point zéro) et un suivi dans le temps des caractéristiques des capteurs, doivent être réalisés suivant la norme EN 13477) par le prestataire.

3.2. Préamplificateur :

Il peut être intégré au capteur ou déporté. Le gain du préamplificateur est de 34 ou 40 dB. Il doit assurer une dynamique allant du seuil d'acquisition à 100 dB_{EA}.

3.3. Filtre :

Le filtre global (préamplificateur + système) doit être au minimum de 24 dB/octave en dehors de la bande 50 à 1000 kHz. La bande de fréquence d'acquisition peut être plus étroite.

3.4. Réglages :

La valeur du seuil d'acquisition est d'au moins 6 dB au-dessus de la valeur ASL/RMS (exprimée en dB_{EA}) du bruit de fond. Dans tous les cas cette valeur doit être inférieure ou égale au seuil d'évaluation (voir § 7.1). Elle conditionne la zone couverte par les capteurs.

Note : Il est recommandé d'utiliser un seuil d'acquisition le plus bas possible. Les critères N_{ce} des tableaux 1 et 3 sont établis pour un seuil d'acquisition de 40 dB_{EA} .

Le temps de réarmement du système (défini comme le temps minimal de séparation de deux salves consécutives) doit être minimum. Il est adapté aux conditions de propagation tout en assurant une détectabilité optimale. Les valeurs recommandées en configuration zonale sont comprises entre 100 et 1000 microsecondes et dans le cas de la configuration planaire elles sont inférieures à 5000 microsecondes.

Le prestataire doit disposer et appliquer un mode opératoire écrit de réglage de son instrumentation, lui permettant de définir sur site les conditions d'acquisition, de conditionnement et de traitement des signaux conformément aux normes européennes EN 13554, EN 13477- 1 et - 2, EN 15495 et EN 14584.

Aucun filtre paramétrique (filtre numérique sur les valeurs des caractéristiques des salves EA) ne sera utilisé pour l'acquisition.

Les signaux enregistrés entre le seuil d'acquisition et le seuil d'évaluation doivent être également archivés pour tout traitement ultérieur.

4. DÉTERMINATION ET VÉRIFICATION DE L'IMPLANTATION DES CAPTEURS

Le nombre de capteurs doit permettre un examen global de l'ensemble de l'équipement. Le système d'émission acoustique est configuré soit en localisation zonale, soit en localisation planaire (cf. paragraphe 4.3 et 4.4).

4.1. Généralités :

Un exemple d'implantation de capteurs est donné en figure 1.

D'autres capteurs peuvent être ajoutés afin de couvrir des zones pour lesquelles une écoute particulière est nécessaire (réparations, supports, tuyauteries attenantes, accessoires externes, ...). Dans ce cas, des critères spécifiques devront être définis.

Pour les équipements disposant d'une protection cathodique, le prestataire, en collaboration avec le donneur d'ordre, doit s'assurer de l'adéquation entre le fonctionnement de cette protection cathodique et les capteurs d'émission acoustique (choix et l'implantation).

Dans le cas où la paroi de l'appareil n'est pas accessible, le prestataire après concertation avec le donneur d'ordre, lui proposera la ou les solutions possibles avec leurs éventuelles limites

pour assurer l'examen global de la structure (installation permanente de capteurs, réalisation de puits d'accès ou mise en place de guides d'ondes pour rendre la paroi accessible localement) en conformité avec la présente annexe.

Dans le cas de l'utilisation de capteurs installés à demeure et non accessibles par la suite, le prestataire doit définir les dispositions nécessaires pour garantir la surveillance globale de la structure dans le temps (par exemple : en cas de défaillance d'un ou de plusieurs capteurs).

Dans le cas où les capteurs ne seront plus accessibles pour les examens futurs (équipements enterrés, sous talus, ...), le prestataire proposera une méthode de vérification de la sensibilité des voies, reproductible dans le temps, en accord avec la vérification initiale réalisée suivant la source Hsu-Nielsen selon les exigences du § 5.1. Cette méthode doit être référencée dans le rapport d'examen.

Dans le cas où les résultats d'examens effectués selon cette procédure à des périodes différentes doivent être comparés, des dispositions particulières doivent être prises pour tenir compte du changement de configuration que l'équipement a pu subir entre temps (ex : position verticale / horizontale – situation aérienne / sous talus).

4.2. Distance entre capteurs

Le rayon d'écoute intrinsèque du capteur pour la source Hsu-Nielsen est déterminé par l'intersection entre la courbe d'atténuation et le seuil d'acquisition. Cette courbe est déterminée en effectuant des mesures en au moins 6 points, répartis sur le rayon d'écoute, avec 3 ruptures minimum par point. Il sera tenu compte de l'influence des caractéristiques particulières du cas d'application, notamment du revêtement et de l'environnement sur l'atténuation (voir exemples en figure 2).

La distance maximale entre capteurs ne peut être supérieure à 9 mètres dans le cas de la localisation zonale et de 6 mètres dans le cas d'une localisation planaire.

4.3. Localisation planaire

Le nombre et la position des capteurs doivent permettre de localiser toute rupture Hsu-Nielsen sur la structure (détection par le nombre de capteurs nécessaire pour appliquer l'algorithme de calcul). La distance maximale entre les capteurs d'une maille doit être telle qu'à partir d'une source Hsu-Nielsen, générée à une distance de 3 à 5 cm d'un capteur, l'amplitude du signal détecté au niveau de tous les capteurs d'une même maille, est supérieure ou égale au seuil d'acquisition plus 6 dB

La localisation doit être vérifiée dans les zones de discontinuité (piquages, pieds, tuyauteries soudées, soudures...). Lorsque nécessaire, d'autres capteurs doivent être ajoutés.

Les analyses correspondant à ce type de localisation sont faites

- pour les analyses en temps réel en appliquant le critère ⑦ du tableau 1 (§ 7.2)
- pour les analyses en temps différé en appliquant le critère ⑦ du tableau 3 (§ 7.3.2)

4.4. Localisation zonale

Le nombre et la position des capteurs doivent permettre de détecter toute rupture Hsu-Nielsen sur la structure par au moins un capteur avec une amplitude mesurée à ce capteur supérieure à la valeur du seuil d'évaluation (valeur maximale du seuil d'acquisition) spécifié au § 7.1. La distance maximale entre capteurs ne doit pas être supérieure à 1,5 fois le rayon d'écoute du capteur au seuil d'évaluation.

La détectabilité doit être vérifiée dans les zones de discontinuité (piquages, pieds, tuyauteries soudées, soudures, ...). Lorsque nécessaire, d'autres capteurs doivent être ajoutés.

Les analyses correspondant à ce type de localisation sont faites

- pour les analyses en temps réel en appliquant les critères①,②, ③, ④, ⑤, ⑥ du tableau 1 (§ 7.2)
- pour les analyses en temps différé en appliquant les critères②,③,④, ⑤, ⑥ du tableau 2 ⑦ (§ 7.3.1)

4.5. Combinaisons et limites des configurations

Dans le cas d'une configuration planaire, par analyse des salves détectées par le premier capteur atteint une surveillance zonale peut être assurée dans les limites à préciser par le prestataire. Ces limites doivent notamment prendre en compte le temps de réarmement retenu.

Les analyses correspondantes en temps réel sont faites en appliquant les critères①,②,③,④,⑤, ⑥ du tableau 1 (§ 7.2).

Les analyses correspondantes sont faites en différé en appliquant les critères②,③,④,⑤,⑥,⑦,⑧ du tableau 3 (§ 7.3.2).

Dans le cas d'une configuration zonale, des évènements détectés par trois capteurs d'une maille peuvent générer des clusters, qui sont analysés en appliquant les critères d'évolution en tendance ⑨ et ⑩ du tableau 2 (§ 7.3.1).

Les analyses de ces clusters peuvent être réalisées en temps réel et différé.

Les zones concernées par cette interprétation doivent être définies par le prestataire.

La précision de la localisation doit être vérifiée par simulation (source Hsu-Nielsen, générateur d'impulsions, ...), sauf dans les zones où la paroi n'est pas accessible. Dans ce dernier cas, le prestataire doit indiquer dans le rapport qu'il n'a pu vérifier la précision de la localisation et doit donner la dimension de la zone concernée pour toute investigation éventuelle ultérieure.

5. MODE OPÉRATOIRE :

Les vérifications se font dans les conditions du contrôle.

5.1. Vérification de la sensibilité des voies

La vérification de la sensibilité des voies est réalisée avec une source Hsu-Nielsen, à une distance de 5 cm de chaque capteur, l'amplitude détectée par la moyenne d'a minima 3 ruptures de mine, doit être supérieure ou égale à 80 dB_{EA}, sans saturation de la chaîne.

Note : en cas de saturation de l'instrumentation, la vérification se fait à une distance supérieure (indiquée dans le rapport), l'amplitude minimale détectée doit être dans tous les cas de 80 dB_{EA}.

Dans le cas où les capteurs ne sont pas accessibles, la méthode de vérification initiale (voir § 4.2 & 4.3) sera appliquée dans les conditions de l'essai pour garantir la reproductibilité dans le temps de la réponse des capteurs.

5.2. Vérification de la détectabilité et de la localisation

5.2.1. Détectabilité

Toutes les zones de discontinuités accessibles (soudures représentatives des longitudinales et des circulaires, piquages, trous d'homme, pieds, berceaux, ...) doivent être simulées par la source Hsu-Nielsen ou équivalent.

Dans le cas où les zones de discontinuités ne sont pas ou plus accessibles, cette vérification pratique est impossible. Elle se limite à la vérification initiale si les discontinuités étaient accessibles. Le prestataire justifie la couverture de ces zones ou émet des réserves (à indiquer dans le rapport).

5.2.2. Localisation planaire

Toutes les discontinuités accessibles : (soudures représentatives des longitudinales et des circulaires, piquages, trous d'homme, pieds, berceaux...) doivent être simulées par la source Hsu-Nielsen ou équivalent avec un point tous les $1/10^{\text{èmes}}$ de la distance entre capteurs.

Dans le cas des discontinuités de faibles dimensions (piquages...), le pas doit être adapté pour répondre aux exigences du § 4. La garantie de localisation est limitée aux zones simulées.

Dans le cas où les discontinuités ne sont pas ou plus accessibles, cette vérification pratique est impossible. Elle se limite à la vérification initiale si les discontinuités étaient accessibles. Le prestataire justifie la couverture de ces zones ou émet des réserves (à indiquer dans le rapport).

5.3. Vérification du bruit de fond et de l'activité permanente initiale

La valeur maximale du bruit de fond est mesurée juste avant l'essai sur une période minimale de 15 minutes. Cette valeur doit être inférieure au seuil d'acquisition moins 6 dB.

Pour l'activité permanente initiale hors sollicitation contrôlée, le nombre maximum de salves détectées sur chaque voie doit être, pour la durée d'écoute de 15 minutes :

- inférieur à 90 au seuil d'évaluation (50 dB_{EA})
- inférieur à 450 à un seuil d'acquisition de 40 dB_{EA} (valeur à ajuster en fonction de la valeur du seuil d'acquisition). Le nombre de voies concernées ne peut dépasser 20 % du nombre total des voies d'acquisition.

De plus la durée cumulée de ces salves détectées doit être inférieure à 1 % de la durée d'écoute, soit 9 secondes au seuil d'acquisition.

Les sources parasites ne pouvant être éliminées (circulation de fluide, internes...) doivent être caractérisées pour être prises en compte lors de l'analyse et l'interprétation des données. Le prestataire disposera d'une méthodologie de filtrage et de traitement des données référencée dans son mode opératoire écrit.

6. CYCLE DE PRESSURISATION DE L'ESSAI DE RÉSISTANCE

Afin de requalifier l'équipement dans les conditions maximales d'utilisation, celui-ci est de manière générale :

- rempli en liquide process (cas des ESP contenant des fluides multi phases liquide/gaz) à sa hauteur maximale admissible de service puis,

- progressivement sollicité jusqu'à Pmax qui sera au minimum de 110 % de la pression maximale appliquée en service (PMA) au cours de la période de référence préalable à l'essai (12 mois), suivant un cycle basé sur le cycle minimal décrit en figure 3. La durée minimale des paliers est de 10 minutes.

Si le fluide de service ne peut pas être utilisé pour la surpression, il peut être remplacé par un gaz neutre, tel que l'azote par exemple.

Lorsque les conditions le permettent (cas des ESP à l'arrêt), le cycle de pression doit commencer à une pression inférieure ou égale à 50 % PMA.

Pour les ESP en service, le cycle de pression doit commencer à une pression inférieure ou égale à 95 % PMA.

Le second cycle, réalisé à une pression inférieure ou égale à 100 % de la pression maximale d'essai, est optionnel suivant des critères d'activité EA (voir § 7.2).

Des descentes et/ou paliers intermédiaires (séquences de pressurisation optionnelles) doivent être ajoutés :

- dans le cas du dépassement de critère(s) d'alarme (voir § 7.2)
- pour vérification de l'effet Kaiser
- à la demande d'une des parties
- pour identifier les signaux dus à des sources extérieures.

Dans ce cas la pression est descendue à la pression du palier précédent et la durée des paliers à pression réduite est au minimum de 5 minutes.

Les vitesses de montée et de descente en pression ne doivent pas excéder par minute 1 % (comprises entre 0,1 % et 1 %) ou 5% (comprise entre 0,5 % et 5 %) de la pression maximale de l'essai respectivement pour un essai pneumatique et un essai hydrostatique.

Note : la vitesse doit être compatible avec la recommandation du fabricant

La pression doit être maintenue lors des paliers, pour l'application des critères associés. La variation de pression maximale acceptable au cours d'un palier est de 3 % de la pression du palier pour les paliers de 10 min et de 5 % de la pression du palier final de 30 min.

Note : Dans le cas où la hauteur du liquide au cours de l'essai est inférieure à la hauteur maximale admissible la requalification de l'équipement à cette hauteur est assurée seulement si la pression maximale de l'essai est corrigée en tenant compte de la pression hydrostatique correspondant à cette différence de hauteur

7. CRITÈRES

7.1. Conditions de validation de l'essai :

Les différents paramètres utilisés pour la validation de l'essai sont :

- Le seuil d'évaluation : il doit être de 50 dB_{EA}
- Le seuil d'acquisition : il doit être inférieur ou égal au seuil d'évaluation.
- Le bruit de fond dont le niveau continu doit être inférieur au seuil d'acquisition moins 6 dB (la valeur maximale étant 44 dB_{EA}.)

Voir note du corps du guide § 8.2.2.

Note : Il est recommandé d'utiliser un seuil d'acquisition le plus bas possible pour ne pas pénaliser la localisation des sources dont l'amplitude est proche du seuil d'évaluation.

7.2. Critères d'analyse en temps réel :

En temps réel, les paramètres observés retenus sont ceux du § 8.2.3 du corps du guide. Ils permettent de définir les critères d'alarme et d'arrêt présentés dans le tableau 1.

- Seuil d'évaluation : 50 dB_{EA}
- Seuil de référence : 65 dB_{EA}
- Critères de déclenchement des clusters :
 - Taille : 10 % de la distance entre capteurs,
 - Seuil en activité : 3 évènements.

Le choix de la configuration de la localisation conditionne certains critères de danger en temps réel.

Tableau 1

	Critères temps réel					
	Alarme				Arrêt	
① Bruit de fond (évolution)	+5 dB				+10 dB	
② Activité, évolution/ zone*	ΔN/ΔP constant avec l'augmentation de pression (4)				ΔN/ΔP croissant avec l'augmentation de pression	
③ Intensité, évolution/ zone*	ΔI/ΔP croissant avec l'augmentation de pression (4)				ΔI/ΔP croissant avec l'augmentation de pression	
	Configuration de Localisation				Configuration de Localisation	
	Zonale		Planaire		Zonale	Planaire
	1 ^{ère} séquence (2)	N ^{ième} séquence (3)	1 ^{ère} séquence (2)	N ^{ième} séquence (3)		
④ N_{1s} / zone*	≥200	≥160	≥100	≥80	≥1000	≥500
⑤ N_{2s} / zone*	≥20	≥16	≥10	≥8	≥100	≥50
⑥ N_{3s} / zone*	≥15	≥12	≥10	≥10	≥100	≥40
⑦ Activité N_{ce} / cluster (1)			≥20	≥16		≥50

(*) L'émission acoustique enregistrée par zone prend en compte les salves détectées par le 1^{er} capteur atteint

(1) Ce critère n'est utilisé que dans le cas de la localisation planaire

(2) Cycle sans aucun dépassement de critères d'alarme ou sans descente

(3) Cycle avec N séquences suite à N dépassements de critères d'alarme valeurs limites pour la séquence concernée. Nombre maximal d'alarmes : 6

Note : L'activité des sources d'origine parasite n'est pas à prendre en compte dans les critères en temps réel, dans la mesure où elles sont identifiées et qu'elles ne masquent pas une émission acoustique significative

(4) Les critères ② et ③ s'appliquent si le critère ④ est dépassé (N>N_{1s})

Le critère ① lié au bruit de fond doit être considéré indépendamment de l'émission discrète.

7.2.1. Critères d'alarme temps réel :

La décision de faire un palier et de diminuer la sollicitation suivant le cycle de la figure 3, sera prise si :

Cas 1 :

Cas d'une configuration en localisation zonale :

L'alarme est déclenchée si :

- le critère bruit de fond ① est dépassé

Ou

- les critères ②+③ d'une zone sont vérifiés et les critères ④+⑤+⑥, sont dépassés.

Cas 2 :

Cas d'une configuration en localisation planaire :

L'alarme est déclenchée si :

- le critère bruit de fond ① est dépassé

Ou

- deux des critères ④ ou ⑤ ou ⑥ sont dépassés et un des critères ② ou ③ est vérifié

Ou

- Le critère ⑦ est dépassé

Note :

1) La cause de l'alarme est recherchée avant toute décision de reprendre ou non la montée en pression conformément au cycle.

2) Si après dépassement des critères d'alarme, l'alarme est à nouveau déclenchée pour une valeur de pression d'essai inférieure ou égale à la valeur maximale précédemment atteinte (valeur au palier réalisé suite à la précédente alarme), l'essai est arrêté.

7.2.2 Critère d'arrêt temps réel :

Une décision d'arrêt de l'essai doit être prise, dans le cas d'une aggravation de la sévérité de l'EA en cours de cycle de sollicitation :

Cas 1 :

Cas d'une configuration en localisation zonale :

- le critère d'évolution du bruit de fond ① est dépassé.

Ou

- les taux d'activité et d'intensité ②+③ d'une zone sont croissants

Ou

- trois critères ④+⑤+⑥ sont dépassés.

Cas 2 :

Cas d'une configuration en localisation planaire :

- le critère d'évolution du bruit de fond ① est dépassé.

Ou

- deux des critères ④ ou ⑤ ou ⑥ sont dépassés et un des critères ② ou ③ est vérifié

Ou

- le critère ⑦ est dépassé

7.3. Critères d'analyse en temps différé et interprétation des données :

Les données sont ensuite traitées et analysées pour réaliser le diagnostic de l'examen.

Le prestataire doit posséder une méthode adaptée et formalisée au cas de l'examen de l'équipement (procédures écrites, base de données, ...) et l'expérience suffisante correspondante, lui permettant notamment de définir et de justifier les filtrages éventuels et le traitement des données.

Le choix de la configuration de localisation conditionne l'analyse et certains critères associés définis dans les § suivants.

7.3.1 Analyse en configuration de localisation zonale

Pour ce type d'analyse, les critères sont appliqués aux salves détectées par le premier capteur atteint (zones) pour le classement en catégories 1,2 ou 3.

- Seuil d'évaluation : 50 dB_{EA}

- Seuil de référence : 65 dB_{EA}

- Critères durant les paliers : Nombre d'événements après 2 min de palier et pendant 8 min de palier, d'amplitude supérieure ou égale au seuil d'évaluation (ce critère ne s'applique pas aux paliers à pression réduite). C'est-à-dire de la 2^{ème} min non incluse jusqu'à la 10^{ème} min incluse pour les paliers de 10 min. Pour le palier final la durée d'évaluation va de la 2^{ème} min non incluse à la 30^{ème} min incluse. L'évaluation est faite à chaque palier.

Pour l'effet Kaiser, le rapport de charge est calculé pour un N_f de 5 et un P_f de 5 %.

Lorsque cette analyse zonale est complétée par une analyse des clusters répondant aux exigences du quatrième alinéa du § 4.5 les critères de déclenchement de ces clusters sont :

- taille : 10% de la distance entre capteurs de la maille
- seuil en activité : 10

La contribution de ces clusters à l'activité de la zone dans laquelle ils sont localisés est évaluée, pour chaque critère④,⑤ et ⑥ du tableau 2, en donnant le rapport des événements de chaque cluster par rapport au nombre total d'événements de la zone.

Le suivi des évolutions, en fonction de la pression, en activité et intensité de ces clusters permet leur classement en fonction des tendances correspondant aux critères ⑨ et ⑩ du tableau 2.

Les critères sont établis pour une pression maximale d'essai de 110% PMA avec le fluide de service (liquide-gaz) ou en pneumatique.

Tableau 2

Critères	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 2
② Activité, évolution/ zone*	$\Delta N/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression (1)	$\Delta N/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
③ Intensité, évolution/ zone*	$\Delta I/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression (1)	$\Delta I/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
④ N_{1s} / zone*	< 60	≥ 60 et < 600	≥ 600
⑤ N_{2s} / zone*	< 5	≥ 5 et < 50	≥ 50
⑥ N_{3s} / zone*	< 10	≥ 10 et < 40	≥ 40
⑧ Rapport des charges / zone (*) (**)	≥ 1	< 1	< 1
⑨ Activité, évolution/ cluster	$\Delta N/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
⑩ Intensité, évolution/ cluster	$\Delta I/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression

(*) L'émission acoustique enregistrée par zone prend en compte les salves détectées par le 1^{er} capteur atteint

(**) Applicable seulement pour les cycles de pression avec descentes

(1) Les critères ② et ③ ne s'appliquent que si N_{1s} est supérieur à la valeur limite N_{1s} (60) de la catégorie 1 (activité significative)

► **Catégorie 1** : Aucune émission

Ou

les taux d'activité et d'intensité (② et ③) de la zone et des clusters (⑨ et ⑩) sont décroissants avec la pression

Et

au moins l'un des trois critères ④, ⑤ et ⑥ n'est pas dépassé.

► **Catégorie 3** : les taux d'activité et d'intensité (② et ③) de la zone sont croissants avec la pression

Et

les trois critères ④, ⑤ et ⑥ sont dépassés.

► **Catégorie 2** : tous les autres cas ne remplissant pas les critères des catégories 1 et 3.

Note critère ⑧ : dans le cas d'un rapport de charge inférieur à 1, le non-respect de l'effet Kaiser doit faire l'objet d'une interprétation.

7.3.2 Analyse en configuration de localisation planaire :

Pour ce type d'analyse, les critères ② à ⑥ et ⑧ sont appliqués aux salves détectées par le premier capteur atteint (zone) et le critère ⑦ est appliqué aux clusters pour leur classement en catégorie 1, 2 ou 3.

- Seuil d'évaluation : 50 dB_{EA} (sans correction d'amplitude avec la distance)
- Seuil de référence : 65 dB_{EA} (sans correction d'amplitude avec la distance)
- Pour l'effet Kaiser, le rapport de charge est calculé pour un N_f de 5 et un P_f de 5 %.
- Critères de déclenchement des clusters :
 - Taille : 10 % de la distance entre capteurs
 - Seuil en activité : 3 évènements
- Critères durant les paliers :

Nombre d'évènements après 2 min de palier et pendant 8 min de palier, d'amplitude supérieure ou égale au seuil d'évaluation (ce critère ne s'applique pas aux paliers à pression réduite) c'est-à-dire de la 2^{ème} min non incluse jusqu'à la 10^{ème} min incluse pour les paliers de 10 min. Pour le palier final la durée d'évaluation va de la 2^{ème} min non incluse à la 30^{ème} min incluse. L'évaluation est faite à chaque palier.

Les critères sont établis pour une pression maximale d'essai de 110% PMA avec le fluide de service (liquide-gaz) ou en pneumatique.

Tableau 3

Critères	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3
② Activité, évolution/ zone*	$\Delta N/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression (1)	$\Delta N/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
③ Intensité, évolution/ zone*	$\Delta I/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression (1)	$\Delta I/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
④ N_{1s} / zone*	< 50	≥ 50 et < 200	≥ 200
⑤ N_{2s} / zone*	< 5	≥ 5 et < 20	≥ 20
⑥ N_{3s} / zone*	< 10	≥ 10 et < 40	≥ 40
⑧ Rapport des charges /zone (*) (**)	≥ 1	< 1 et ≥ 0,95	< 0,95
⑦ Activité Nce / cluster (***)	< 10	≥ 10 et < 50	≥ 50

(*) L'émission acoustique enregistrée par zone prend en compte les salves détectées par le 1^{er} capteur atteint

(**) Applicable seulement pour les cycles de pression avec descentes

(***) Ces valeurs sont valables pour un seuil d'acquisition de 40 dB_{EA}

(1) Les critères ② et ③ ne s'appliquent que si N_{1s} est supérieur à la valeur limite N_{1s} (50) de la catégorie 1 (activité significative)

Définition des catégories : Classement des zones et des clusters

► **Catégorie 1** : Tout ce qui n'est pas en catégorie 2 ou en catégorie 3

► **Catégorie 2 (référéncée par rapport aux valeurs de la catégorie 2 du tableau 3)** :
deux des critères ④, ⑤ ou ⑥ et un des critères ② ou ③ ou ⑦ est vérifié/dépassé

Ou

Le critère ⑦ est dépassé

► **Catégorie 3 (référéncée par rapport aux valeurs de la catégorie 3 du tableau 3)** :
deux des critères ④, ⑤ ou ⑥ et un des critères ② ou ③ ou ⑦ sont vérifiés/dépassés

Ou

Le critère ⑦ est dépassé.

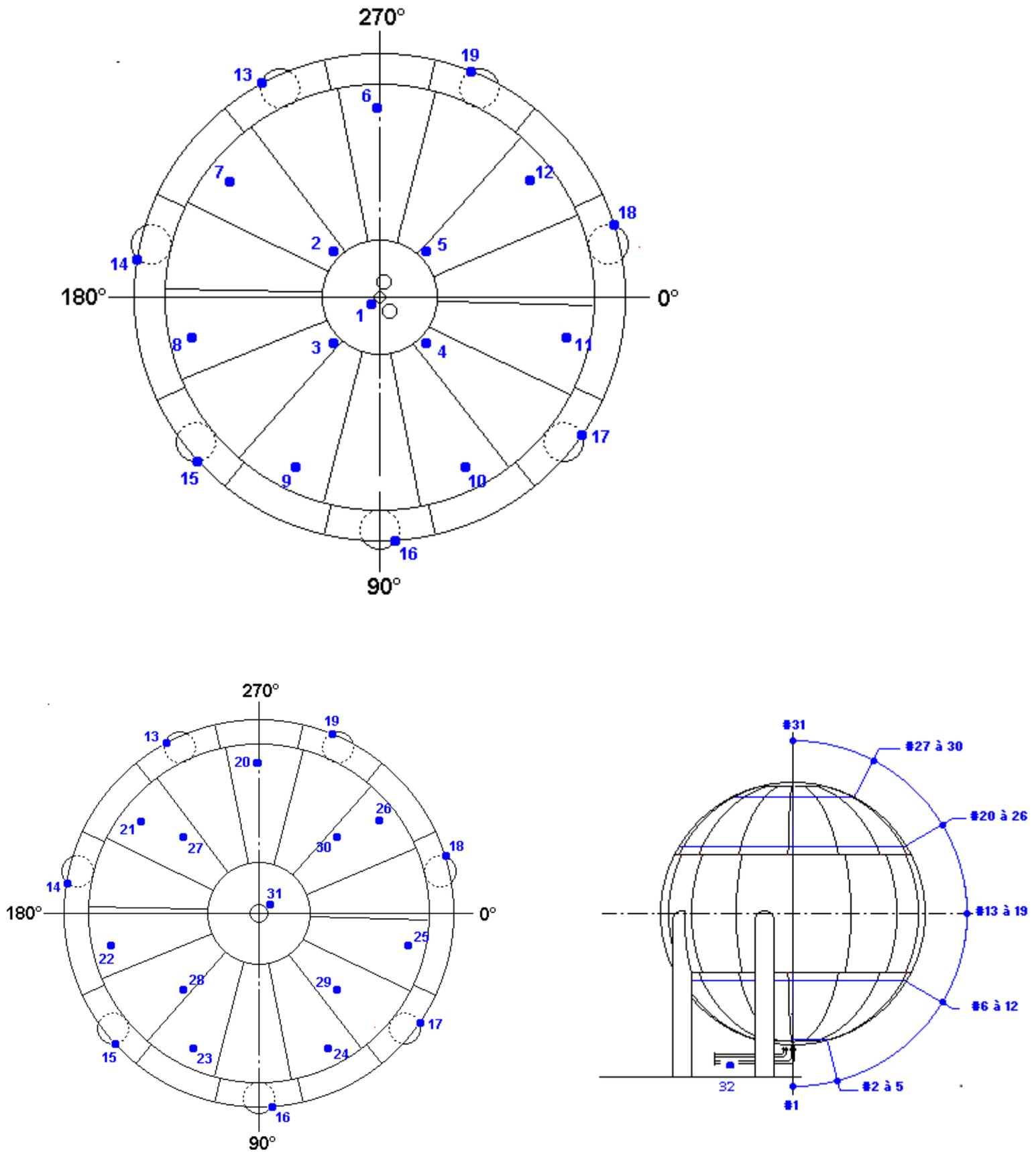


Figure 1 : Exemple d'implantation de capteurs

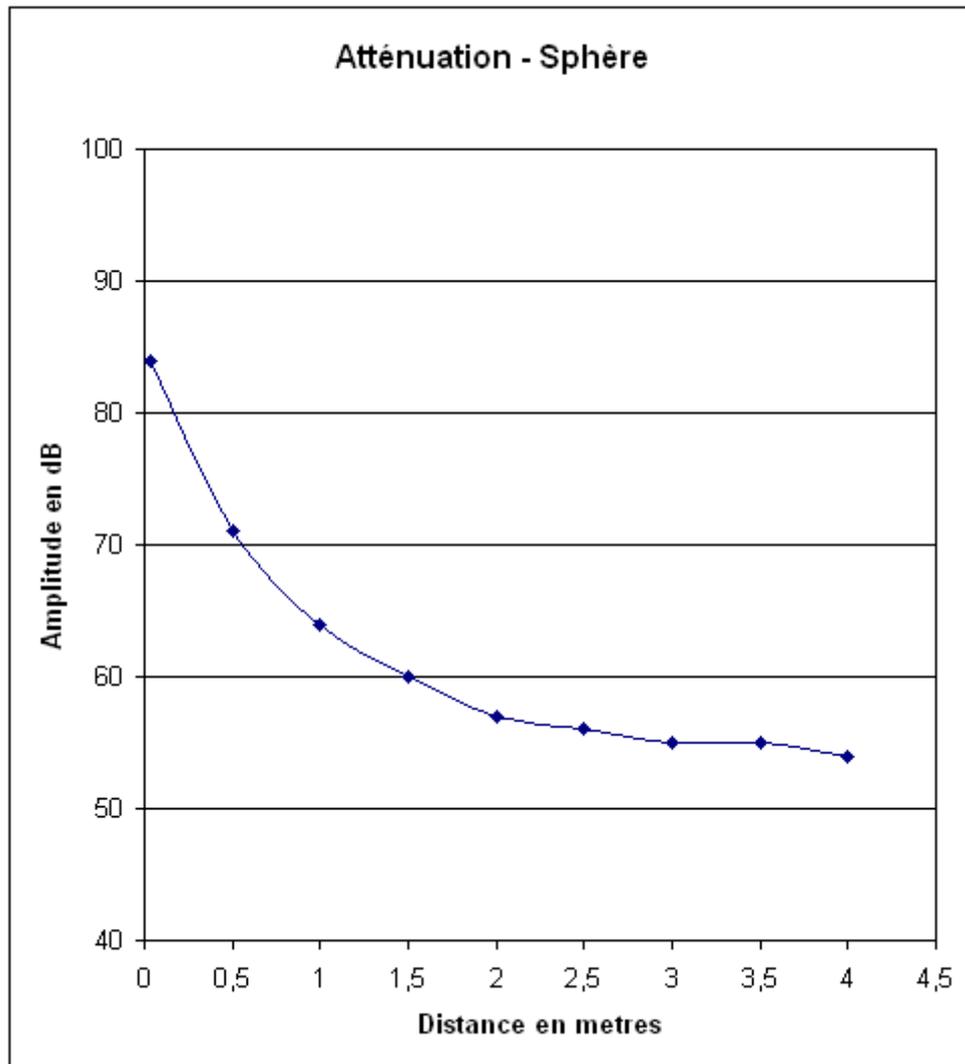


Figure 2 : Exemple de courbe d'atténuation (expérimentale)

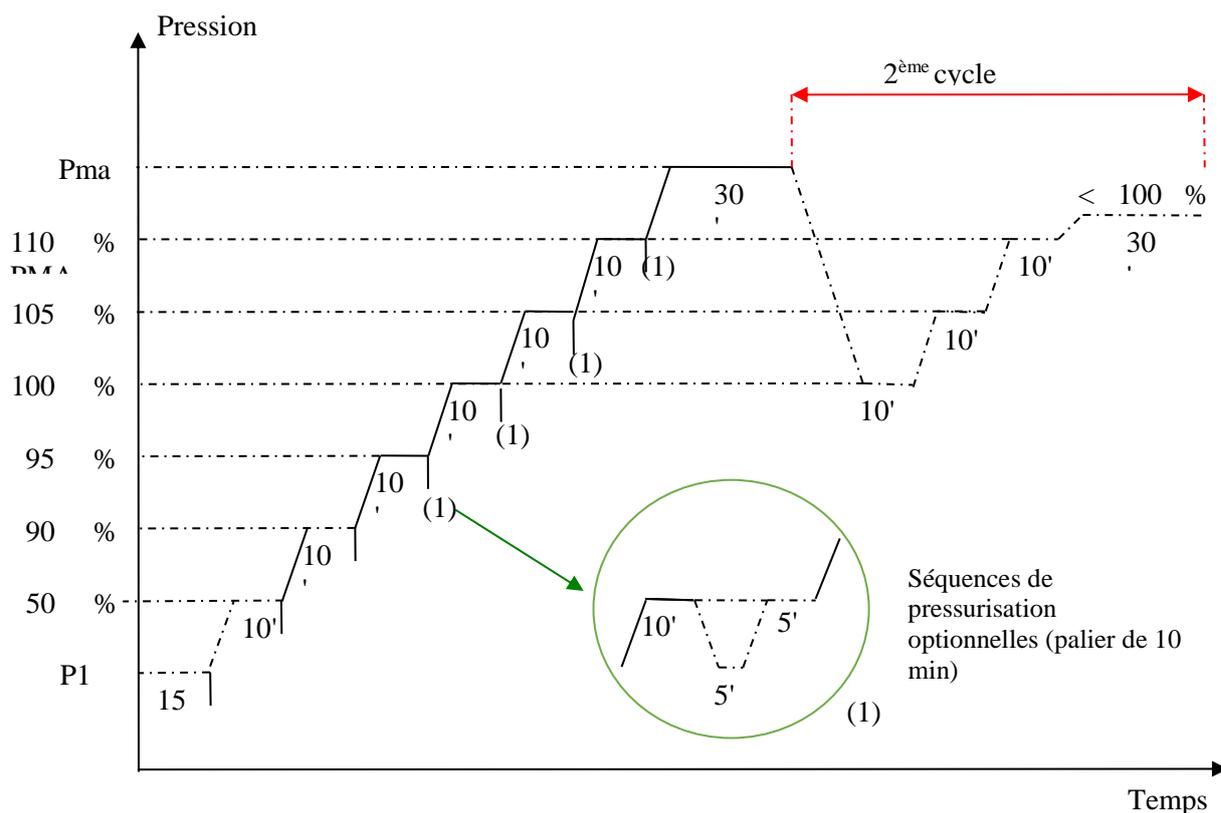


Figure 3 : Cycle de sollicitation pour un essai de requalification en service

- Cycle minimum à pratiquer entre 95% de PMA et Pmax,
- - - Option(s) à retenir en fonction de l'activité EA (voir § 7.2) ou à la demande des prestataires
- Pmax Pression maximale d'essai $\geq 110\%$ de PMA
- PMA Pression Maximale Appliquée en service (période de référence)
- P1 Pression de début d'essai (inférieure ou égale à 95 % PMA)

Note : selon la pression de début d'essai, d'autres paliers peuvent être ajoutés, avant 50 % PMA.

8. RAPPORT FINAL – SPÉCIFICITÉS

Le rapport doit inclure en compléments des éléments généraux requis (voir § 9 du corps du guide) :

- La justification de la pression maximale de l'examen si celle-ci est inférieure à 110% PMA.
- La justification des zones couvertes non vérifiées (voir § 5.2.1 et 5.2.2)

ANNEXE 4 : MÉTHODOLOGIE À APPLIQUER POUR L'ÉLABORATION D'UNE PROCÉDURE APPLICABLE AU CONTRÔLE DES RÉSERVOIRS DE GAZ DE PÉTROLE LIQUÉFIÉS « PETITS VRACS » ENTERRES

1. OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

Cette annexe s'applique aux réservoirs cylindriques fixes, enterrés, en acier non allié, soudés, de capacité au plus égale à 12 m³ et destinés à la distribution de Gaz de Pétrole Liquéfiés, réservoirs dits 'petit vrac'.

Cette annexe précise les modalités que le prestataire doit respecter lors du contrôle qui a pour but de réaliser un diagnostic global de l'état de la structure et de déterminer les réservoirs ne présentant pas de défauts susceptibles d'être dangereux en conditions de service.

Ces contrôles sont effectués in situ lors d'une pressurisation réalisée au moyen de GPL, le réservoir étant momentanément hors fonctionnement. Le cas de l'essai de résistance de réception, réalisé en fin de fabrication n'est pas traité.

Chaque type de réservoirs est rattaché acoustiquement à une famille et à un groupe d'appartenance. Chaque famille de réservoirs doit, en amont de tout contrôle in-situ, faire l'objet de vérifications en termes de comportements acoustiques. Deux groupes de familles ont été créés (le groupe G150 et le groupe G75) en fonction notamment de la valeur de l'atténuation des ondes se propageant dans les réservoirs.

L'implantation des capteurs, le cycle de pressurisation, les critères applicables doivent être définis par famille et par groupe de réservoirs. Ce document donne les critères applicables pour les deux groupes de réservoirs (G150 et G75), et, à titre d'exemple, l'implantation des capteurs pour la famille F0 du groupe G150.

2. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

Les documents utilisés pour la rédaction de la présente annexe sont ceux de l'annexe 1 du GBP et le Cahier des charges CFBP MA.PV/CC.01 dernière version, pour la fabrication et l'exploitation des réservoirs GPL petit vrac.

3. DÉFINITIONS

Petit vrac : réservoir cylindrique fixe en acier soudé de capacité au plus égale à 12 m³ et destiné à la distribution de GPL.

Réservoir enterré : réservoir entouré de matériau susceptible d'être enlevé facilement sur une épaisseur d'au moins 0,30 m, au niveau de la génératrice médiane et à la partie supérieure, et d'au moins 0,15 m à la partie inférieure.

Famille : ensemble de réservoirs présentant des caractéristiques communes en termes de :

- pression maximale admissible (PS).
- longueur.
- revêtement et protections.
- nuance de l'acier constitutif.

- diamètre et épaisseur.
- type d'assemblage.
- traitement thermique éventuel.

Exemple : famille F0 : ensemble de réservoirs présentant les caractéristiques suivantes :

- Pression maximale admissible (PS) : 17 bars relatifs,
- Longueur maximale de la partie cylindrique : 3500 mm,
- Revêtement : peinture époxy d'épaisseur inférieure ou égale à 750 µm,
- Aciers type A42, A48 ou A52 selon NF A 36 205 ou de caractéristiques mécaniques et métallurgiques équivalentes.
- Diamètre compris entre 800 mm et 1250 mm.
- Épaisseur comprise entre 5 et 8 mm.
- Soudures circulaires réalisées sur bords soyés et soudures longitudinales réalisées en bout à bout.
- Le clapet porte-soupape est centré dans l'axe longitudinal du réservoir.
- Sans bossage à l'extérieur du capot (hormis le bouchon de vidange).
- Fonds normalisés ou emboutis à température de normalisation.

Groupe de familles : ensemble de familles de réservoirs présentant des caractéristiques communes en termes de comportement acoustique, notamment d'atténuation des ondes et en termes de dimensions conditionnant la distance maximale source-capteur.

Groupe G150 : ensemble de familles de réservoirs présentant une atténuation inférieure ou égale à 12 dB /m lors de l'utilisation de capteurs résonnants à 150 kHz

Groupe G75 : ensemble de familles de réservoirs présentant une atténuation supérieure à 12 dB /m lors de l'utilisation de capteurs résonnants à 150 kHz. Pour ces familles, des capteurs résonnants à 75 kHz sont utilisés, la valeur de l'atténuation des ondes ne pourra pas alors excéder 24 dB /m.

Pour ces deux groupes, la distance maximale source capteur n'excède pas 2500 mm

F.A.E.A. : Facteur d'Activité en Émission Acoustique.

Paramètre permettant d'évaluer le caractère énergétique et l'activité d'un réservoir en termes d'émission acoustique au cours de l'essai.

$FAEA = FN * (FA_{Avg} + FA_{Max} + FE_{\Sigma} + FE_{Max})$ avec :

FN = coefficient dépendant du nombre d'événements dans le cluster.

FA_{Avg} = coefficient dépendant de l'amplitude moyenne en dB_{EA} des événements du cluster

FA_{Max} = coefficient dépendant de l'amplitude maximum en dB_{EA} de l'événement de plus forte amplitude du cluster.

FE_Σ = coefficient dépendant de l'énergie cumulée des événements dans le cluster.

FE_{Max} = coefficient dépendant de l'énergie de l'événement de plus forte énergie dans le cluster.

Anomalie : toute réparation connue du réservoir susceptible d'avoir une influence sur la réalisation et les résultats du contrôle par émission acoustique.

4. DESCRIPTION DE L'INSTRUMENTATION ET RÉGLAGES

4.1 Système

Le système d'acquisition doit répondre aux prescriptions du §4.8 du corps du guide et doit comporter un nombre de voies au moins égal au nombre de capteurs nécessaires à la couverture acoustique de l'ensemble du réservoir (voir le §5.2). Le système permet d'acquérir simultanément en temps réel l'ensemble des salves d'émission acoustique détectées sur les voies instrumentées en termes de caractéristiques et de forme.

4.2 Capteurs

Les capteurs sont du type résonant dans la bande de fréquence 70-400 kHz avec une sensibilité minimale, à la fréquence de résonance, de 55 dB réf Volt/mètre/seconde (source transitoire) ou de - 80 dB réf. 1 Volt/microbar.

Pour les réservoirs du groupe de familles G150, les capteurs utilisés présentent une fréquence de résonance à 150 kHz.

Pour les réservoirs du groupe de familles G75, les capteurs utilisés présentent une fréquence de résonance à 75 kHz.

4.3 Préamplificateur

Il peut être intégré au capteur ou déporté et doit assurer une dynamique allant du seuil d'acquisition à 100 dB_{EA}. Le gain du préamplificateur est réglé à 34 dB.

4.4 Filtre

Le filtrage global (préamplificateur + système) doit être au minimum de 24 dB/octave en dehors de la bande de 40 kHz à 850 kHz.

4.5 Réglages

La valeur du seuil d'acquisition est d'au moins 6 dB au-dessus de la valeur RMS (exprimée en dB_{EA}) du bruit de fond. Dans tous les cas cette valeur doit être inférieure ou égale à 40 dB_{EA}. Voir le §5.3.2.

Le temps de réarmement du système (défini comme le temps minimal de séparation de deux salves consécutives) doit être minimum. Il est adapté aux conditions de propagation tout en assurant une détectabilité optimale. Les valeurs recommandées sont comprises entre 100 et 2000 microsecondes.

Aucun filtre paramétrique (filtre numérique sur les valeurs des caractéristiques des salves EA) ne sera utilisé pour l'acquisition.

5. MODE OPÉRATOIRE

5.1 Dispositions préalable au contrôle

Les anomalies connues doivent être communiquées au responsable d'essai avant le début de l'essai.

Le responsable d'essai sur site vérifie, la faisabilité du contrôle avant intervention (contrôle de l'étanchéité des accessoires, délai de plus de six mois depuis la date de dernière épreuve hydraulique inscrite sur la plaque signalétique...).

5.2 Détermination de l'implantation des capteurs

Les capteurs implantés sur le réservoir permettent de contrôler l'ensemble de la structure. Dans l'espace capot, quatre capteurs sont instrumentés sur le réservoir suivant l'exemple d'implantation donné en figure 1.

Ces capteurs forment une maille planaire, comprenant les plaques signalétiques et les accessoires. Cette configuration permet une localisation planaire précise, dans l'espace capot, des sources acoustiques potentielles connues. Des études ont démontré que ces sources étaient liées aux effets de la soudure des plaques signalétiques et non à une dégradation de l'enveloppe sous pression.

Cette activité éventuelle est, lors de l'analyse, filtrée pour déterminer le classement du réservoir.

Certaines familles de réservoirs nécessitent l'implantation de capteurs formant des mailles supplémentaires. Ces mailles constituées de deux capteurs, sont de type linéaire et nécessitent l'ouverture de puits d'accès sur la partie supérieure du réservoir. La position de ces mailles est optimisée de manière à ce que la distance maximale source-capteur soit inférieure à 2500 mm

5.3 Vérifications

5.3.1 Vérification de la sensibilité des voies

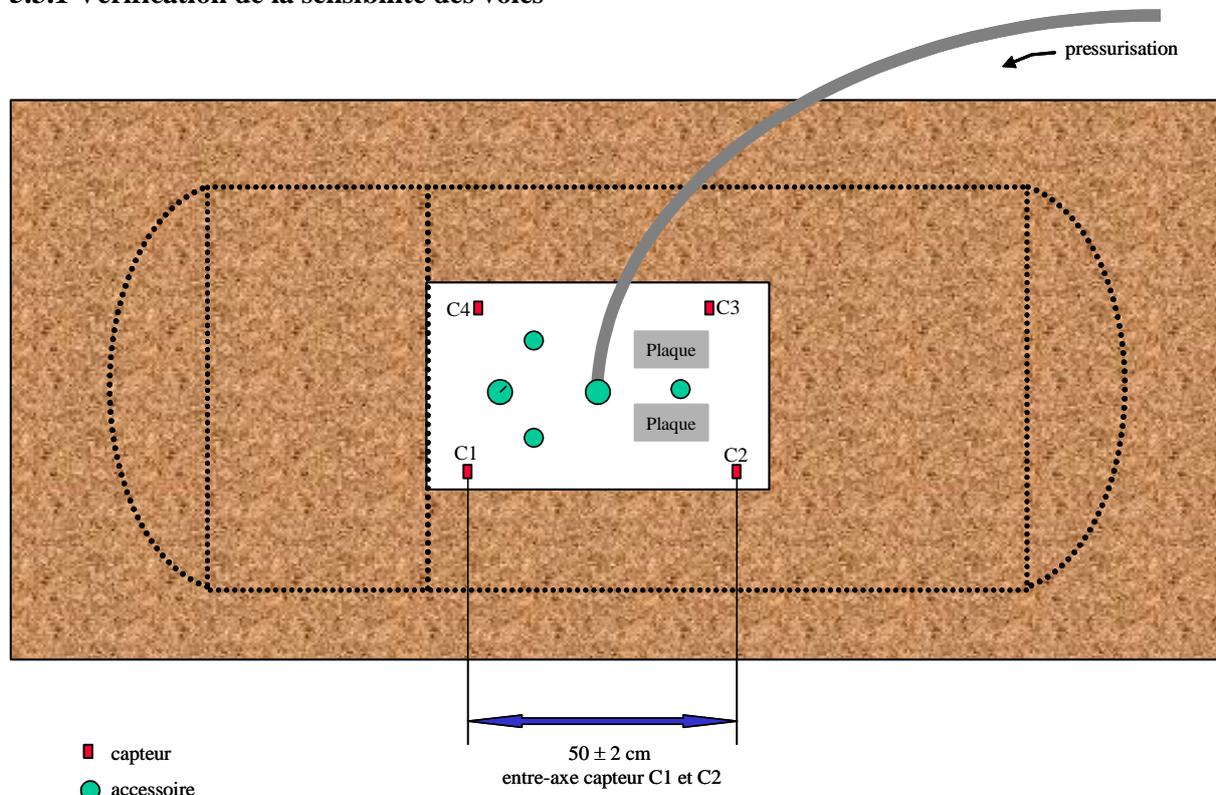


Figure 1 : Exemple d'implantation des capteurs (vue de dessus)

Le responsable d'essai effectue au minimum 3 ruptures de mines à 20 cm de chaque capteur. La rupture s'effectue, à l'intérieur de l'espace inter-capteur, la source étant dirigée vers le capteur.

Dans ces conditions la valeur moyenne minimum de réponse de chaque voie de mesure doit être de 80 dB_{EA}, sans saturation de la chaîne et doit être à ± 3 dB autour de la valeur moyenne obtenues sur toutes les voies instrumentées.

5.3.2 Vérification du bruit de fond

La vérification se fait dans les conditions du contrôle.

L'enregistrement du bruit de fond est effectué pendant une période de 5 minutes minimum, à la pression de début d'essai.

Le nombre maximum de salves détectées sur chaque voie doit être inférieur à 30 pour une durée d'enregistrement de 5 minutes. La durée cumulée des salves détectées doit être inférieure à 1% de la durée d'écoute, soit 3 secondes.

5.4 Cycle de pression

Le système de pressurisation ne doit pas provoquer de bruits mécaniques ni générer de parasites électriques susceptibles de perturber les mesures.

La pression est enregistrée dans le système d'acquisition en continu avec une incertitude de mesure n'excédant pas 2%.

Le cycle de pression est une montée, qui s'effectue de manière régulière à une vitesse moyenne n'excédant pas 1,5 bar/min de la pression d'équilibre jusqu'à la pression maximale admissible (PS) du réservoir au moyen de GPL sous forme gazeux.

En fonction de la famille d'appartenance du réservoir, sur la base d'études réalisées et/ou pour dédouaner une activité mécanique éventuelle, il peut être nécessaire de réaliser plusieurs montées successives identiques.

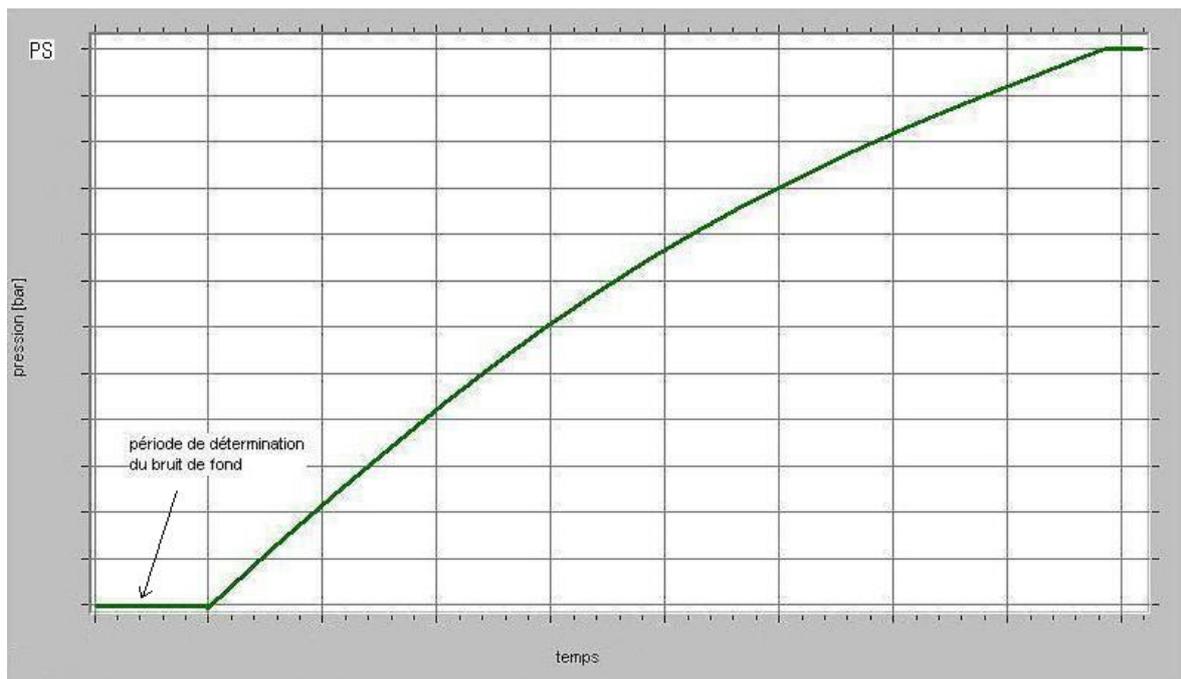


Figure 2 : Exemple de courbe de pressurisation

5.5 Conditions de validation de l'essai

Les différents paramètres utilisés pour la validation de l'essai sont :

- le seuil d'évaluation : il doit être égal à 40 dB_{EA}
- la pression maximale atteinte lors de l'essai : elle doit être égale à la pression maximale admissible (PS) du réservoir
- la valeur RMS du bruit de fond : elle doit être inférieure à 34 dB_{EA}
- le seuil d'acquisition : il doit être inférieur ou égal au seuil d'évaluation.

5.6 Critères d'analyse en temps réel

L'activité correspondant aux plaques signalétiques, si clairement identifiée, n'est pas à prendre en compte dans les critères en temps réel.

5.6.1 Perturbations d'acquisition

Le responsable d'essai sur site décide d'arrêter la pressurisation lors de l'apparition d'un dysfonctionnement du système d'acquisition (coupure d'alimentation électrique, saturation sur une ou plusieurs voies de mesures...). En fonction du type de dysfonctionnement, une analyse au cas par cas sera réalisée avant la reprise éventuelle de l'essai.

5.6.2 Critères d'alarme en temps réel :

Le responsable d'essai sur site décide de diminuer la sollicitation en fonction des critères ci-dessous (sur une voie au moins) :

- Détection de plus de 10 salves supérieures à 85 dB_{EA} en moins d'une minute.
- Détection de plus de 25 salves supérieures à 75 dB_{EA} depuis le début de l'essai.
- La valeur RMS du bruit de fond dépasse 34 dB_{EA}.

En cas de diminution de sollicitation suite à dépassement de critères d'alarme, la sollicitation sera reprise après analyse et retour de la valeur RMS à une valeur inférieure à 34 dB_{EA}.

5.6.3 Critères d'arrêt en temps réel :

Le responsable d'essai sur site décide d'arrêter l'essai, dans le cas d'une aggravation de la sévérité de l'EA au cours du cycle de sollicitation, en fonction des critères ci-dessous (sur une voie au moins) :

- Détection de plus de 20 salves supérieures à 85 dB_{EA} en moins d'une minute.
- Détection de plus de 50 salves supérieures à 75 dB_{EA} depuis le début de l'essai.
- La valeur RMS du bruit de fond dépasse 40 dB_{EA}.

En cas d'arrêt de l'essai, celui-ci ne sera pas repris sauf éventuellement en cas de retour de la valeur RMS à une valeur inférieure à 34 dB_{EA}.

Dans le cas d'une reprise de l'essai et d'un nouveau dépassement de critères d'arrêt en temps réel, l'essai est arrêté et ne sera pas repris.

6. ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES DONNÉES

Le réglage des filtres paramétriques en temps différé doit permettre le filtrage des parasites électromagnétiques.

L'activité acoustique localisée dans la maille planaire et correspondant aux plaques signalétiques, voir §5.2 est filtrée en utilisant un filtre d'analyse du type spatial.

L'éventuelle activité acoustique due à la particularité du revêtement est filtrée en utilisant un filtre d'analyse basé sur la reconnaissance de forme d'ondes.

Pour l'ensemble de ces filtres, le prestataire doit posséder une procédure écrite dans laquelle sont définis les filtrages pouvant être utilisés.

Les salves d'émission acoustique sont traitées, après filtrage éventuel, par une localisation linéaire entre les capteurs C1 et C2 (projection hyperbolique des sources entre les deux capteurs - voir figure 3) avec une vitesse de propagation des ondes comprise entre 4800 et 5200 m/s.

En cas d'absence de plaques signalétiques dans la maille de capteurs considérée, aucun filtre du type spatial n'est utilisé.

Un cluster est défini avec 10 cm de largeur et un seuil de déclenchement égal à deux événements localisés dans la maille linéaire (tous les événements sont pris en compte quelle que soit leur intensité).

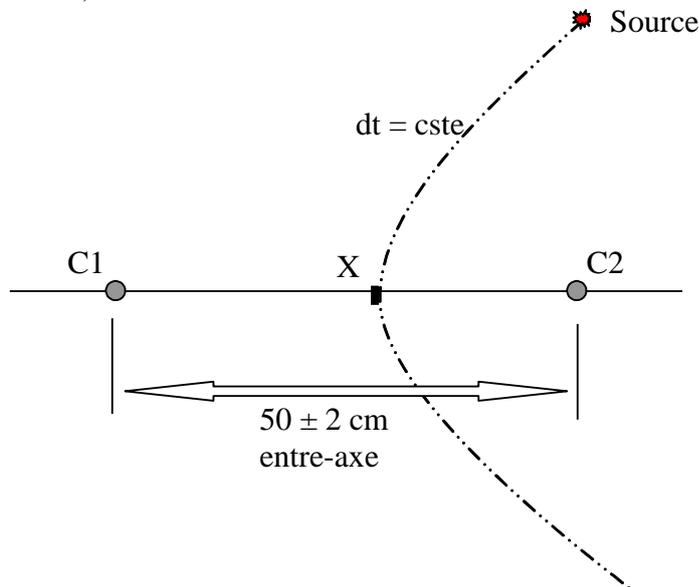


Figure 3 : projection hyperbolique des sources acoustiques entre les deux capteurs

L'interprétation des données enregistrées est effectuée pour chaque maille de capteur. Le classement final du réservoir est le classement de sa maille la plus défavorable.

Tableau 1 : gradients de pression du cycle rentrant dans la procédure de classement des réservoirs

Pression maximale admissible (PS) [bar relatif]	1er gradient de pression [bar absolu]	2ème gradient de pression [bar absolu]	3ème gradient de pression [bar absolu]
17	10 à 18	10 à 14	14 à 18
14	7 à 15	7 à 11	11 à 15
16	9 à 17	9 à 13	13 à 17

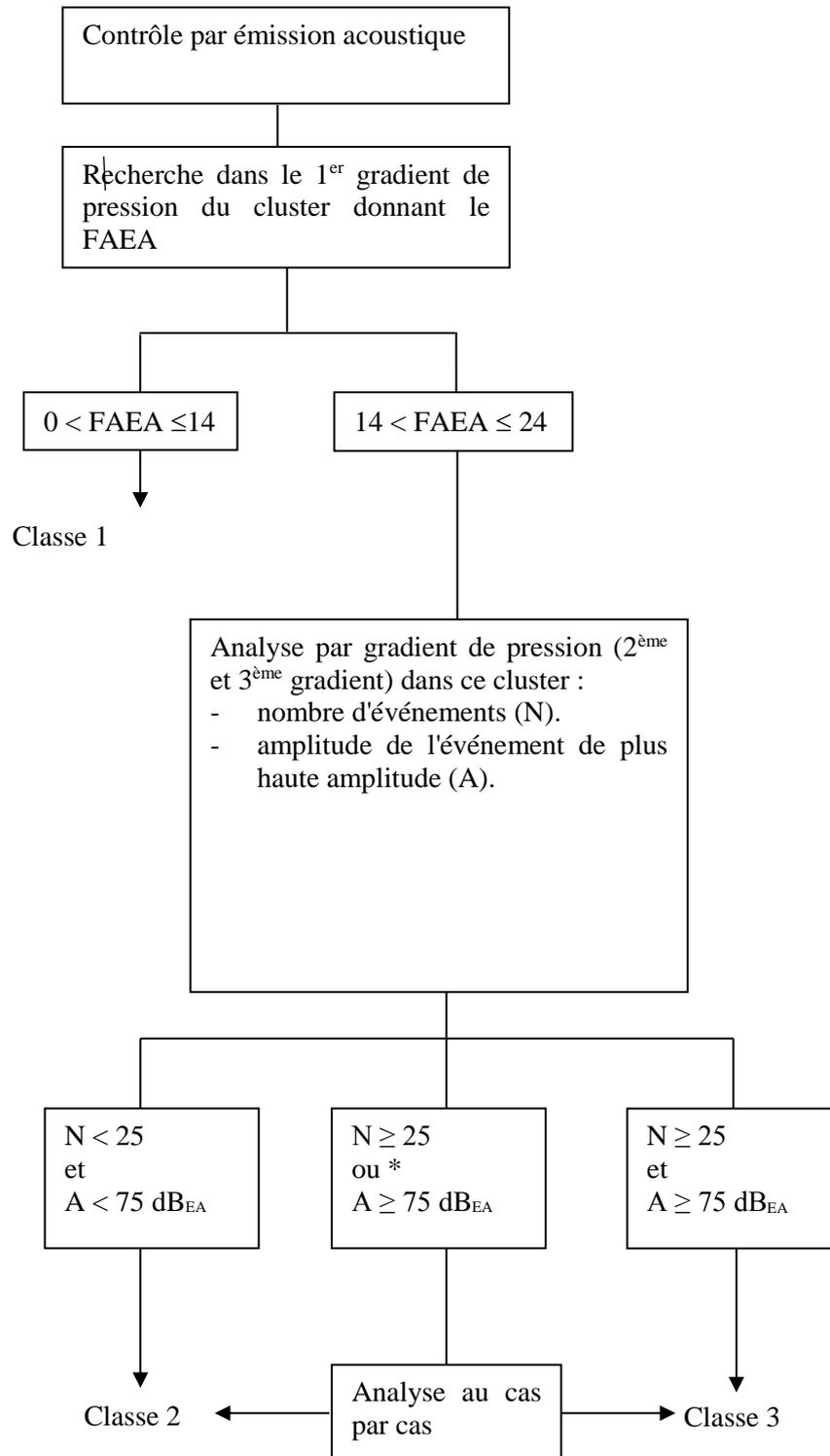


Figure 4 : logigramme de classification des réservoirs

* le ou est exclusif

Le classement est donné par le gradient de pression le plus défavorable.

Tableau 2 : Application numérique du calcul du FAEA pour le Groupe de famille G150

Paramètres cluster	Valeur	Coefficient	
Nombre d'événements dans le cluster (N)	$N \leq 5$	FN = 1	
	$5 < N \leq 10$	FN = 2	
	$N > 10$	FN = 3	
Amplitude de l'événement présentant la plus forte amplitude du cluster (F_{aMax}) et amplitude moyenne des événements du cluster (F_{aAvg}) En dB_{EA}	$A \leq 50$	F_{aAvg} 0,3	F_{aMax} 0,7
	$50 < A \leq 60$	0,6	1,4
	$A > 60$	1,2	2,8
Energie dans le cluster de l'événement de plus forte énergie ($F_{E_{Max}}$) et énergie cumulée du cluster ($F_{E_{\Sigma}}$) En eu (*)	$E \leq 2.10^3$	$F_{E_{\Sigma}}$ 0,4	$F_{E_{Max}}$ 0,6
	$2.10^3 < E \leq 1.10^4$	0,8	1,2
	$E > 10^4$	1,6	2,4

À titre de référence une rupture du type HSU NIELSEN d'amplitude comprise entre 75 dB_{EA} et 85 dB_{EA} correspond à une énergie comprise entre $5 \cdot 10^4$ et $5 \cdot 10^5$ eu.

(*) 1 eu = $10^{-14}V^2sec$

Tableau 3 : Application numérique du calcul du FAEA pour le Groupe de famille G75

Paramètres cluster	Valeur	Coefficient	
Nombre d'événements dans le cluster (N)	$N \leq 5$	FN = 1	
	$5 < N \leq 10$	FN = 2	
	$N > 10$	FN = 3	
Amplitude de l'événement présentant la plus forte amplitude du cluster (F_{aMax}) et amplitude moyenne des événements du cluster (F_{aAvg}) En dB_{EA}	$A \leq 50$	F_{aAvg} 0,3	F_{aMax} 0,7
	$50 < A \leq 60$	0,6	1,4
	$A > 60$	1,2	2,8
Energie dans le cluster de l'événement de plus forte énergie ($F_{E_{Max}}$) et énergie cumulée du cluster ($F_{E_{\Sigma}}$) en eu (*)	$E \leq 1.10^4$	$F_{E_{\Sigma}}$ 0,4	$F_{E_{Max}}$ 0,6
	$1.10^4 < E \leq 5.10^4$	0,8	1,2
	$E > 5.10^4$	1,6	2,4

À titre de référence, une rupture du type HSU NIELSEN d'amplitude comprise entre 75 dB_{EA} et 85 dB_{EA} correspond à une énergie comprise entre $5 \cdot 10^5$ eu et $2,2 \cdot 10^6$ eu.

(*) 1 eu = $10^{-14}V^2sec$

Analyse au cas par cas

Le nombre d'événements reflète l'activité globale du réservoir et de ce fait peut être important sans traduire d'évolution d'indication. De plus l'instabilité des accessoires, dans certains cas, notamment du clapet porte soupape, peut générer une activité soutenue représentée par un grand nombre d'événements localisés.

Le dépassement du critère sur le nombre d'événements N ne conduit pas à lui seul à la classe 3, et peut, dans certains cas, être relié à un phénomène connu (accessoire, clapet porte soupape...).

Le dépassement du critère sur l'amplitude A conduit dans de nombreux cas au classement du réservoir en classe 3 : un événement localisé dans l'espace inter-captteur de grande amplitude ($A \geq 75 \text{ dB}_{EA}$) peut représenter une évolution d'indication, cette évolution peut être transitoire et ne générer que quelques événements pendant la durée complète de sollicitation.

L'analyse est réalisée dans le 2ème et le 3ème gradient de pression.

Les critères permettant, à l'aide du calcul de décision (voir tableau 4 ci-après), le classement final du réservoir en classe 2 ou en classe 3 sont :

- la valeur du FAEA,
- la valeur de N et la valeur maximale de A,
- le nombre d'événements d'amplitude supérieure ou égale à 75 dB_{EA} .

Le calcul permettant de prendre la décision consiste à additionner les points (1,2 ou 3), suivant les valeurs de chaque critère obtenues dans le 2ème et le 3ème gradient de pression du contrôle.

Tableau 4 : calcul de décision pour l'analyse au cas par cas

Nombre de points par critère Critères	1	2	3
Valeur du FAEA	≤ 17.7	$17.7 < \text{FAEA} \leq 22.2$	$22.2 < \text{FAEA} \leq 24$
N		$N < 25$	$N \geq 25$
A max [dB_{EA}]	$A < 75$	$75 \leq A < 80$	$A \geq 80$
Nbre d'évts $\geq 75 \text{ dB}_{EA}$	= 1	= 2	≥ 3

Le classement du réservoir est donné par le gradient de pression ayant le résultat du calcul le plus élevé.

Le réservoir est classe 2 si le résultat du calcul est inférieur ou égal à 6.

Le réservoir est classe 3 si le résultat du calcul est supérieur ou égal à 7.

Correspondance avec les catégories du GBP

Les classes 1 et 2 correspondent à la catégorie 1 du GBP.

La classe 3 correspond à la catégorie 2 du GBP.

Les réservoirs dépassant les critères d'arrêt en temps réel correspondent à la catégorie 3.

7. RAPPORT FINAL - SPÉCIFICITÉS

Le rapport final doit comporter autant de rapport d'analyse que de mailles implantées sur le réservoir contrôlé. Le(s) rapport(s) d'analyse contien(ent)t la représentation de l'activité acoustique avec au minimum les graphes suivants :

- bruit de fond en fonction du temps,
- amplitude et énergie localisée en fonction du temps sur chaque maille,
- amplitude des événements localisés avec cluster,
- pression en fonction du temps.

ANNEXE 6 : MÉTHODOLOGIE À APPLIQUER POUR L'ÉLABORATION D'UNE PROCÉDURE APPLICABLE AUX ÉQUIPEMENTS SOUS PRESSION CYLINDRIQUES

1. OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

Cette annexe s'applique aux ESP du type cylindrique soudé ou boulonné, revêtu (interne et/ou externe), aériens, calorifugés*, ignifugés*, sous talus* ou enterrés*, en acier non allié de limite d'élasticité inférieure ou égale à 460 MPa, monocouches (les ESP multicouches sont exclus) d'épaisseur inférieure à 100 mm**, simple paroi, à l'exception des petits vracs enterrés d'un volume inférieur ou égale à 12 m³ faisant l'objet d'annexes spécifiques, dont la température de paroi est comprise entre TSmin = -40 et TSmax = 150 °C, contenant des fluides liquides et/ou gazeux. Le cas de l'épreuve de réception, réalisée en fin de fabrication, n'est pas traité.

La présente annexe s'applique notamment au cas des requalifications périodiques des ballons cylindriques des unités de raffinage, chimie et pétrochimie à l'arrêt ou en service et des réservoirs, pour le remplacement de l'épreuve hydraulique par un autre essai de résistance sous pression.

La mise sous pression peut être hydrostatique ou pneumatique à l'occasion d'un arrêt d'exploitation de l'équipement.

L'essai peut être réalisé avec le fluide de service ou avec tout autre fluide, hors circulation du fluide.

Note : Compte tenu des évolutions susceptibles de se produire au voisinage immédiat d'un équipement sous talus (tassement du remblai, adaptations locales au droit des supports, ...), le comportement des équipements peut être affecté et de ce fait, l'interprétation des résultats pourra tenir compte de ces évolutions.

* : dans les limites décrites au § 4 (examen global de l'équipement)

** : la limite de 100 mm tient compte du retour d'expérience, cette valeur n'est pas une limite de la méthode EA. Pour des équipements de plus forte épaisseur, les critères peuvent éventuellement être adaptés par le prestataire.

2. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

Les documents utilisés pour la rédaction de la présente annexe sont ceux de l'**annexe 1 du GBP**.

3. DESCRIPTION DE L'INSTRUMENTATION ET RÉGLAGES

3.1. Capteurs

Les capteurs sont du type résonant dans la bande de fréquence 70 – 400 kHz avec une sensibilité minimale, à la fréquence de résonance, de 55 dB ref. volt/mètre/seconde (source transitoire) ou de – 80 dB ref. 1 volt/microbar.

Une réception (point zéro) et un suivi dans le temps des caractéristiques des capteurs, doivent être réalisés suivant la norme EN 13477) par le prestataire.

3.2. Préamplificateur

Il peut être intégré au capteur ou déporté. Le gain du préamplificateur est de 34 ou 40 dB. Il doit assurer une dynamique allant du seuil d'acquisition à 100 dB_{EA}.

3.3. Filtre

Le filtre global (préamplificateur + système) doit être au minimum de 24 dB/octave en dehors de la bande 50 à 1000 kHz. La bande de fréquence d'acquisition peut être plus étroite.

3.4. Réglages

La valeur du seuil d'acquisition est d'au moins 6 dB au-dessus de la valeur ASL/RMS (exprimée en dB_{EA}) du bruit de fond. Dans tous les cas cette valeur doit être inférieure ou égale au seuil d'évaluation (voir § 7.1). Elle conditionne la zone couverte par les capteurs.

Note : Il est recommandé d'utiliser un seuil d'acquisition le plus bas possible. Les critères N_{ce} des tableaux 1 et 3 sont établis pour un seuil d'acquisition de 40 dB_{EA}.

Le temps de réarmement du système (défini comme le temps minimal de séparation de deux salves consécutives) doit être minimum. Il est adapté aux conditions de propagation tout en assurant une détectabilité optimale. Les valeurs recommandées en configuration zonale sont comprises entre 100 et 1000 microsecondes et dans le cas de la configuration planaire elles sont inférieures à 5000 microsecondes.

Le prestataire doit disposer et appliquer un mode opératoire écrit de réglage de son instrumentation, lui permettant de définir sur site les conditions d'acquisition, de conditionnement et de traitement des signaux conformément aux normes européennes EN 13554, EN 13477- 1 et - 2, EN 15495 et EN 14584.

Aucun filtre paramétrique (filtre numérique sur les valeurs des caractéristiques des salves EA) ne sera utilisé pour l'acquisition.

Les signaux enregistrés entre le seuil d'acquisition et le seuil d'évaluation doivent être également archivés pour tout traitement ultérieur.

4. DÉTERMINATION ET VÉRIFICATION DE L'IMPLANTATION DES CAPTEURS

Le nombre de capteurs doit permettre un examen global de l'ensemble de l'équipement. Le système d'émission acoustique est configuré soit en localisation zonale, soit en localisation planaire (cf. paragraphe 4.3 et 4.4).

4.1. Généralités

Un exemple d'implantation de capteurs est donné en figure 1.

D'autres capteurs peuvent être ajoutés afin de couvrir des zones pour lesquelles une écoute particulière est nécessaire (réparations, supports, tuyauteries attenantes, accessoires externes, ...). Dans ce cas, des critères spécifiques devront être définis.

Pour les équipements disposant d'une protection cathodique, le prestataire, en collaboration avec le donneur d'ordre, doit s'assurer de l'adéquation entre le fonctionnement de cette protection cathodique et les capteurs d'émission acoustique (choix et l'implantation).

Dans le cas où la paroi de l'appareil n'est pas accessible, le prestataire après concertation avec le donneur d'ordre, lui proposera la ou les solutions possibles avec leurs éventuelles limites pour assurer l'examen global de la structure (installation permanente de capteurs, réalisation de puits d'accès ou mise en place de guides d'ondes pour rendre la paroi accessible localement) en conformité avec la présente annexe.

Dans le cas de l'utilisation de capteurs installés à demeure et non accessibles par la suite, le prestataire doit définir les dispositions nécessaires pour garantir la surveillance globale de la structure dans le temps (par exemple : en cas de défaillance d'un ou de plusieurs capteurs).

Dans le cas où les capteurs ne seront plus accessibles pour les examens futurs (équipements enterrés, sous talus ...), le prestataire proposera une méthode de vérification de la sensibilité des voies, reproductible dans le temps, en accord avec la vérification initiale réalisée suivant la source Hsu-Nielsen selon les exigences du § 5.1. Cette méthode doit être référencée dans le rapport d'examen.

Dans le cas où les résultats d'examens effectués selon cette procédure à des périodes différentes doivent être comparés, des dispositions particulières doivent être prises pour tenir compte du changement de configuration que l'équipement a pu subir entre temps (ex : position verticale / horizontale – situation aérienne / sous talus).

4.2. Distance entre capteurs

Le rayon d'écoute intrinsèque du capteur pour la source Hsu-Nielsen est déterminé par l'intersection entre la courbe d'atténuation et le seuil d'acquisition. Cette courbe est déterminée en effectuant des mesures en au moins 6 points, répartis sur le rayon d'écoute, avec 3 ruptures minimum par point. Il sera tenu compte de l'influence des caractéristiques particulières du cas d'application, notamment du revêtement et de l'environnement sur l'atténuation (voir exemples en figure 2).

La distance maximale entre capteurs ne peut être supérieure à 9 mètres dans le cas de la localisation zonale et de 6 mètres dans le cas d'une localisation planaire.

4.3. Localisation planaire

Le nombre et la position des capteurs doivent permettre de localiser toute rupture Hsu-Nielsen sur la structure (détection par le nombre de capteurs nécessaire pour appliquer l'algorithme de calcul). La distance maximale entre les capteurs d'une maille doit être telle qu'à partir d'une source Hsu-Nielsen, générée à une distance de 3 à 5 cm d'un capteur, l'amplitude du signal détecté au niveau de tous les capteurs d'une même maille, est supérieure ou égale au seuil d'acquisition plus 6 dB.

La localisation doit être vérifiée dans les zones de discontinuité (piquages, pieds, tuyauteries soudées, soudures ...). Lorsque nécessaire, d'autres capteurs doivent être ajoutés.

Les analyses correspondant à ce type de localisation sont faites

- pour les analyses en temps réel en appliquant le critère ⑦ du tableau 1 (§ 7.2)
- pour les analyses en temps différé en appliquant le critère ⑦ du tableau 3 (§ 7.3.2)

4.4. Localisation zonale

Le nombre et la position des capteurs doivent permettre de détecter toute rupture Hsu-Nielsen sur la structure par au moins un capteur avec une amplitude mesurée à ce capteur supérieure à la valeur du seuil d'évaluation (valeur maximale du seuil d'acquisition) spécifié au § 7.1. La distance maximale entre capteurs ne doit pas être supérieure à 1,5 fois le rayon d'écoute du capteur au seuil d'évaluation.

La détectabilité doit être vérifiée dans les zones de discontinuité (piquages, pieds, tuyauteries soudées, soudures, ...). Lorsque nécessaire, d'autres capteurs doivent être ajoutés.

Les analyses correspondant à ce type de localisation sont faites

- pour les analyses en temps réel en appliquant les critères ①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥ du tableau 1 (§ 7.2)
- pour les analyses en temps différé en appliquant les critères ②, ③, ④, ⑤, ⑥ du tableau 2 (§ 7.3.1)

4.5. Combinaisons et limites des configurations

Dans le cas d'une configuration planaire, par analyse des salves détectées par le premier capteur atteint une surveillance zonale peut être assurée dans les limites à préciser par le prestataire. Ces limites doivent notamment prendre en compte le temps de réarmement retenu.

Les analyses correspondantes en temps réel sont faites en appliquant les critères ①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥ du tableau 1 (§ 7.2).

Les analyses correspondantes sont faites en différé en appliquant les critères ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦, ⑧ du tableau 3 (§ 7.3.2).

Dans le cas d'une configuration zonale, des évènements détectés par trois capteurs d'une maille peuvent générer des clusters, qui sont analysés en appliquant les critères d'évolution en tendance ⑨ et ⑩ du tableau 2 (§ 7.3.1).

Les analyses de ces clusters peuvent être réalisées en temps réel et différé.

Les zones concernées par cette interprétation doivent être définies par le prestataire.

La précision de la localisation doit être vérifiée par simulation (source Hsu-Nielsen, générateur d'impulsions, ...), sauf dans les zones où la paroi n'est pas accessible. Dans ce dernier cas, le prestataire doit indiquer dans le rapport qu'il n'a pu vérifier la précision de la localisation et doit donner la dimension de la zone concernée pour toute investigation éventuelle ultérieure.

5. MODE OPÉRATOIRE

Les vérifications se font dans les conditions du contrôle.

5.1. Vérification de la sensibilité des voies

La vérification de la sensibilité des voies est réalisée avec une source Hsu-Nielsen, à une distance de 5 cm de chaque capteur, l'amplitude détectée par la moyenne d'au minima 3 ruptures de mine, doit être supérieure ou égale à 80 dB_{EA}, sans saturation de la chaîne.

Note : en cas de saturation de l'instrumentation, la vérification se fait à une distance supérieure (indiquée dans le rapport), l'amplitude minimale détectée doit être dans tous les cas de $80 \text{ dB}_{\text{EA}}$.

Dans le cas où les capteurs ne sont pas accessibles, la méthode de vérification initiale (voir § 4.2 & 4.3) sera appliquée dans les conditions de l'essai pour garantir la reproductibilité dans le temps de la réponse des capteurs.

5.2. Vérification de la détectabilité et de la localisation

5.2.1. Détectabilité

Toutes les zones de discontinuités accessibles (soudures représentatives des longitudinales et des circulaires, piquages, trous d'homme, pieds, berceaux, ...) doivent être simulées par la source Hsu-Nielsen ou équivalent.

Dans le cas où les zones de discontinuités ne sont pas ou plus accessibles, cette vérification pratique est impossible. Elle se limite à la vérification initiale si les discontinuités étaient accessibles. Le prestataire justifie la couverture de ces zones ou émet des réserves (à indiquer dans le rapport).

5.2.2. Localisation planaire

Toutes les discontinuités accessibles : (soudures représentatives des longitudinales et des circulaires, piquages, trous d'homme, pieds, berceaux ...) doivent être simulées par la source Hsu-Nielsen ou équivalent avec un point tous les $1/10^{\text{èmes}}$ de la distance entre capteurs.

Dans le cas des discontinuités de faibles dimensions (piquages ...), le pas doit être adapté pour répondre aux exigences du § 4. La garantie de localisation est limitée aux zones simulées.

Dans le cas où les discontinuités ne sont pas ou plus accessibles, cette vérification pratique est impossible. Elle se limite à la vérification initiale si les discontinuités étaient accessibles. Le prestataire justifie la couverture de ces zones ou émet des réserves (à indiquer dans le rapport).

5.3. Vérification du bruit de fond et de l'activité permanente initiale

La valeur maximale du bruit de fond est mesurée juste avant l'essai sur une période minimale de 15 minutes. Cette valeur doit être inférieure au seuil d'acquisition moins 6 dB.

Pour l'activité permanente initiale hors sollicitation contrôlée, le nombre maximum de salves détectées sur chaque voie doit être, pour la durée d'écoute de 15 minutes :

- inférieur à 90 au seuil d'évaluation ($50 \text{ dB}_{\text{EA}}$)
- inférieur à 450 à un seuil d'acquisition de $40 \text{ dB}_{\text{EA}}$ (valeur à ajuster en fonction de la valeur du seuil d'acquisition). Le nombre de voies concernées ne peut dépasser 20 % du nombre total des voies d'acquisition.

De plus la durée cumulée de ces salves détectées doit être inférieure à 1 % de la durée d'écoute, soit 9 secondes au seuil d'acquisition.

Les sources parasites ne pouvant être éliminées (circulation de fluide, internes ...) doivent être caractérisées pour être prises en compte lors de l'analyse et l'interprétation des données. Le prestataire disposera d'une méthodologie de filtrage et de traitement des données référencée dans son mode opératoire écrit.

6. CYCLE DE PRESSURISATION DE L'ESSAI DE RÉSISTANCE

Afin de requalifier l'équipement dans les conditions maximales d'utilisation, celui-ci est de manière générale :

- rempli en liquide process (cas des ESP contenant des fluides multi phases liquide/gaz) à sa hauteur maximale admissible de service puis,
- progressivement sollicité jusqu'à P_{max} qui sera au minimum de 110 % de la pression maximale appliquée en service (PMA) au cours de la période de référence préalable à l'essai (12 mois), suivant un cycle basé sur le cycle minimal décrit en figure 3. La durée minimale des paliers est de 10 minutes.

Si le fluide de service ne peut pas être utilisé pour la surpression, il peut être remplacé par un gaz neutre, tel que l'azote par exemple.

Lorsque les conditions le permettent (cas des ESP à l'arrêt), le cycle de pression doit commencer à une pression inférieure ou égale à 50 % PMA.

Pour les ESP en service, le cycle de pression doit commencer à une pression inférieure ou égale à 95 % PMA.

Le second cycle, réalisé à une pression inférieure ou égale à 100 % de la pression maximale d'essai, est optionnel suivant des critères d'activité EA (voir § 7.2).

Des descentes et/ou paliers intermédiaires (séquences de pressurisation optionnelles) doivent être ajoutés :

- dans le cas du dépassement de critère(s) d'alarme (voir § 7.2)
- pour vérification de l'effet Kaiser
- à la demande d'une des parties
- pour identifier les signaux dus à des sources extérieures.

Dans ce cas la pression est descendue à la pression du palier précédent et la durée des paliers à pression réduite est au minimum de 5 minutes.

Les vitesses de montée et de descente en pression ne doivent pas excéder par minute 1 % (comprises entre 0,1 % et 1 %) ou 5% (comprise entre 0,5 % et 5 %) de la pression maximale de l'essai respectivement pour un essai pneumatique et un essai hydrostatique.

Note : la vitesse doit être compatible avec la recommandation du fabricant.

La pression doit être maintenue lors des paliers, pour l'application des critères associés. La variation de pression maximale acceptable au cours d'un palier est de 3 % de la pression du palier pour les paliers de 10 min et de 5 % de la pression du palier final de 30 min.

Note : Dans le cas où la hauteur du liquide au cours de l'essai est inférieure à la hauteur maximale admissible la requalification de l'équipement à cette hauteur est assurée seulement si la pression maximale de l'essai est corrigée en tenant compte de la pression hydrostatique correspondant à cette différence de hauteur).

7. CRITÈRES

7.1. Conditions de validation de l'essai :

Les différents paramètres utilisés pour la validation de l'essai sont :

- Le seuil d'évaluation : il doit être de 50 dB_{EA}
- Le seuil d'acquisition : il doit être inférieur ou égal au seuil d'évaluation.
- Le bruit de fond dont le niveau continu doit être inférieur au seuil d'acquisition moins 6 dB (la valeur maximale étant 44 dB_{EA}.)

Voir note du corps du guide § 8.2.2.

Note : Il est recommandé d'utiliser un seuil d'acquisition le plus bas possible pour ne pas pénaliser la localisation des sources dont l'amplitude est proche du seuil d'évaluation.

7.2. Critères d'analyse en temps réel :

En temps réel, les paramètres observés retenus sont ceux du § 8.2.3 du GBP. Ils permettent de définir les critères d'alarme et d'arrêt présentés dans le tableau 1.

- Seuil d'évaluation : 50 dB_{EA}
- Seuil de référence : 65 dB_{EA}
- Critères de déclenchement des clusters :
- Taille : 10 % de la distance entre capteurs,
- Seuil en activité : 3 événements.

Le choix de la configuration de la localisation conditionne certains critères de danger en temps réel.

Tableau 1

	Critères temps réel					
	Alarme				Arrêt	
① Bruit de fond (évolution)	+5 dB				+10 dB	
② Activité, évolution/ zone*	ΔN/ΔP constant avec l'augmentation de pression (4)				ΔN/ΔP croissant avec l'augmentation de pression	
③ Intensité, évolution/ zone*	ΔI/ΔP croissant avec l'augmentation de pression (4)				ΔI/ΔP croissant avec l'augmentation de pression	
	Configuration de Localisation				Configuration de Localisation	
	Zonale		Planaire			
	1 ^{ère} séquence (2)	N ^{ième} séquence (3)	1 ^{ère} séquence (2)	N ^{ième} séquence (3)	Zonale	Planaire
④ N _{1s} / zone*	≥200	≥160	≥100	≥80	≥1000	≥500
⑤ N _{2s} / zone*	≥20	≥16	≥10	≥8	≥100	≥50
⑥ N _{3s} / zone*	≥15	≥12	≥10	≥10	≥100	≥40
⑦ Activité N _{ce} / cluster (1)			≥20	≥16		≥50

* L'émission acoustique enregistrée par zone prend en compte les salves détectées par le 1^{er} capteur atteint

(1) ce critère n'est utilisé que dans le cas de la localisation planaire

(2) cycle sans aucun dépassement de critères d'alarme ou sans descente

(3) cycle avec N séquences suite à N dépassements de critères d'alarme valeurs limites pour la séquence concernée. Nombre maximal d'alarmes : 6

Note : L'activité des sources d'origine parasite n'est pas à prendre en compte dans les critères en temps réel, dans la mesure où elles sont identifiées et qu'elles ne masquent pas une émission acoustique significative

(4) Les critères ② et ③ s'appliquent si le critère ④ est dépassé ($N > N_{1s}$)

Le critère ① lié au bruit de fond doit être considéré indépendamment de l'émission discrète.

7.2.1. Critères d'alarme temps réel :

La décision de faire un palier et de diminuer la sollicitation suivant le cycle de la figure 3, sera prise si :

Cas 1 :

Cas d'une configuration en localisation zonale :

L'alarme est déclenchée si :

- le critère bruit de fond ① est dépassé

Ou

- les critères ②+③ d'une zone sont vérifiés et les critères ④+⑤+⑥, sont dépassés.

Cas 2 :

Cas d'une configuration en localisation planaire :

L'alarme est déclenchée si :

- le critère bruit de fond ① est dépassé

Ou

- deux des critères ④ ou ⑤ ou ⑥ sont dépassés et un des critères ② ou ③ est vérifié

Ou

- Le critère ⑦ est dépassé

Note :

1) La cause de l'alarme est recherchée avant toute décision de reprendre ou non la montée en pression conformément au cycle.

2) Si après dépassement des critères d'alarme, l'alarme est à nouveau déclenchée lorsque la pression de l'essai atteint la valeur maximale précédemment atteinte (valeur au palier réalisé suite à la précédente alarme), l'essai est arrêté.

7.2.2 Critère d'arrêt temps réel :

Une décision d'arrêt de l'essai doit être prise, dans le cas d'une aggravation de la sévérité de l'EA en cours de cycle de sollicitation :

Cas 1 :

Cas d'une configuration en localisation zonale :

- le critère d'évolution du bruit de fond ① est dépassé.

Ou

- les taux d'activité et d'intensité ②+③ d'une zone sont croissants

Ou

- trois critères ④+⑤+⑥ sont dépassés.

Cas 2 :

Cas d'une configuration en localisation planaire :

- le critère d'évolution du bruit de fond ① est dépassé.

Ou

- deux des critères ④ ou ⑤ ou ⑥ sont dépassés et un des critères ② ou ③ est vérifié

Ou

- le critère ⑦ est dépassé

7.3. Critères d'analyse en temps différé et interprétation des données :

Les données sont ensuite traitées et analysées pour réaliser le diagnostic de l'examen.

Le prestataire doit posséder une méthode adaptée et formalisée au cas de l'examen de l'équipement (procédures écrites, base de données, ...) et l'expérience suffisante correspondante, lui permettant notamment de définir et de justifier les filtrages éventuels et le traitement des données.

Le choix de la configuration de localisation conditionne l'analyse et certains critères associés définis dans les § suivants.

7.3.1 Analyse en configuration de localisation zonale

Pour ce type d'analyse, les critères sont appliqués aux salves détectées par le premier capteur atteint (zones) pour le classement en catégories 1,2 ou 3.

- Seuil d'évaluation : 50 dB_{EA}

- Seuil de référence : 65 dB_{EA}

- Critères durant les paliers: Nombre d'événements après 2 min de palier et pendant 8 min de palier, d'amplitude supérieure ou égale au seuil d'évaluation (ce critère ne s'applique pas aux paliers à pression réduite). C'est-à-dire de la 2^{ème} min non incluse jusqu'à la 10^{ème} min incluse pour les paliers de 10 min. Pour le palier final la durée d'évaluation va de la 2^{ème} min non incluse à la 30^{ème} min incluse. L'évaluation est faite à chaque palier.

Pour l'effet Kaiser, le rapport de charge est calculé pour un N_f de 5 et un P_f de 5 %.

Lorsque cette analyse zonale est complétée par une analyse des clusters répondant aux exigences du quatrième alinéa du § 4.5 les critères de déclenchement de ces clusters sont :

- taille : 10% de la distance entre capteurs de la maille
- seuil en activité : 10

La contribution de ces clusters à l'activité de la zone dans laquelle ils sont localisés est évaluée, pour chaque critère ④, ⑤ et ⑥ du tableau 2, en donnant le rapport des événements de chaque cluster par rapport au nombre total d'événements de la zone.

Le suivi des évolutions, en fonction de la pression, en activité et intensité de ces clusters permet leur classement en fonction des tendances correspondant aux critères ⑨ et ⑩ du tableau 2.

Les critères sont établis pour une pression maximale d'essai de 110% PMA avec le fluide de service (liquide-gaz) ou en pneumatique.

Tableau 2

Critères	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3
② Activité, évolution/ zone*	$\Delta N/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression (1)	$\Delta N/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
③ Intensité, évolution/ zone*	$\Delta I/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression (1)	$\Delta I/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
④ $N_{1s} / zone^*$	< 60	≥ 60 et < 600	≥ 600
⑤ $N_{2s} / zone^*$	< 5	≥ 5 et < 50	≥ 50
⑥ $N_{3s} / zone^*$	< 10	≥ 10 et < 40	≥ 40
⑧ Rapport des charges / zone (*) (**)	≥ 1	< 1	< 1
⑨ Activité, évolution/ cluster	$\Delta N/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
⑩ Intensité, évolution/ cluster	$\Delta I/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression

(*) L'émission acoustique enregistrée par zone prend en compte les salves détectées par le 1^{er} capteur atteint

(**) Applicable seulement pour les cycles de pression avec descentes

(1) Les critères ② et ③ ne s'appliquent que si N_{1s} est supérieur à la valeur limite N_{1s} (60) de la catégorie 1 (activité significative)

Définition des catégories des zones :

► **Catégorie 1** : Aucune émission

Ou

les taux d'activité et d'intensité (② et ③) de la zone et des clusters (⑨ et ⑩) sont décroissants avec la pression

Et

au moins l'un des trois critères ④, ⑤, ⑥ n'est pas dépassé.

► **Catégorie 3** : les taux d'activité et d'intensité (② et ③) de la zone sont croissants avec la pression

Et

les trois critères ④, ⑤, ⑥ sont dépassés.

► **Catégorie 2** : tous les autres cas ne remplissant pas les critères des catégories 1 et 3.

Note critère ⑧: dans le cas d'un rapport de charge inférieur à 1, le non-respect de l'effet Kaiser doit faire l'objet d'une interprétation

7.3.2 Analyse en configuration de localisation planaire :

Pour ce type d'analyse, les critères ② à ⑥ et ⑧ sont appliqués aux salves détectées par le premier capteur atteint (zone) et le critère ⑦ est appliqué aux clusters pour leur classement en catégorie 1, 2 ou 3.

- Seuil d'évaluation : 50 dB_{EA} (sans correction d'amplitude avec la distance)
- Seuil de référence : 65 dB_{EA} (sans correction d'amplitude avec la distance)
- Pour l'effet Kaiser, le rapport de charge est calculé pour un N_f de 5 et un P_f de 5 %.
- Critères de déclenchement des clusters :
 - Taille : 10 % de la distance entre capteurs
 - Seuil en activité : 3 évènements
- Critères durant les paliers :

Nombre d'évènements après 2 min de palier et pendant 8 min de palier, d'amplitude supérieure ou égale au seuil d'évaluation (ce critère ne s'applique pas aux paliers à pression réduite) c'est-à-dire de la 2^{ème} min non incluse jusqu'à la 10^{ème} min incluse pour les paliers de 10 min. Pour le palier final la durée d'évaluation va de la 2^{ème} min non incluse à la 30^{ème} min incluse. L'évaluation est faite à chaque palier.

Les critères sont établis pour une pression maximale d'essai de 110% PMA avec le fluide de service (liquide-gaz) ou en pneumatique.

Tableau 3

Critères	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 1
② Activité, évolution/ zone*	$\Delta N/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression (1)	$\Delta N/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
③ Intensité, évolution/ zone*	$\Delta I/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression (1)	$\Delta I/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
④ N_{1s}/zone*	< 50	≥ 50 et < 200	≥ 200
⑤ N_{2s}/zone*	< 5	≥ 5 et < 20	≥ 20
⑥ N_{3s}/zone*	< 10	≥ 10 et < 40	≥ 40
⑧ Rapport des charges /zone* (**)	≥ 1	< 1 et ≥ 0,95	< 0,95
⑦ Activité Nce/cluster (***)	< 10	≥ 10 et < 50	≥ 50

* L'émission acoustique enregistrée par zone prend en compte les salves détectées par le 1^{er} capteur atteint

(**) Applicable seulement pour les cycles de pression avec descentes

(***) Ces valeurs sont valables pour un seuil d'acquisition de 40 dB_{EA}

(1) Les critères ② et ③ ne s'appliquent que si N_{1s} est supérieur à la valeur limite N_{1s} (50) de la catégorie 1 (activité significative)

Définition des catégories : Classement des zones et des clusters

► **Catégorie 1** : Tout ce qui n'est pas en catégorie 2 ou en catégorie 3

► **Catégorie 2 (référéncée par rapport aux valeurs de la catégorie 2 du tableau 3)** : deux des critères ④, ⑤ ou ⑥ et un des critères ② ou ③ ou ⑧ sont vérifiés/dépassés

Ou

Le critère ⑦ est dépassé

► **Catégorie 3 (référéncée par rapport aux valeurs de la catégorie 3 du tableau 3)** : deux des critères ④, ⑤ ou ⑥ et un des critères ② ou ③ ou ⑧ sont vérifiés/dépassés

Ou

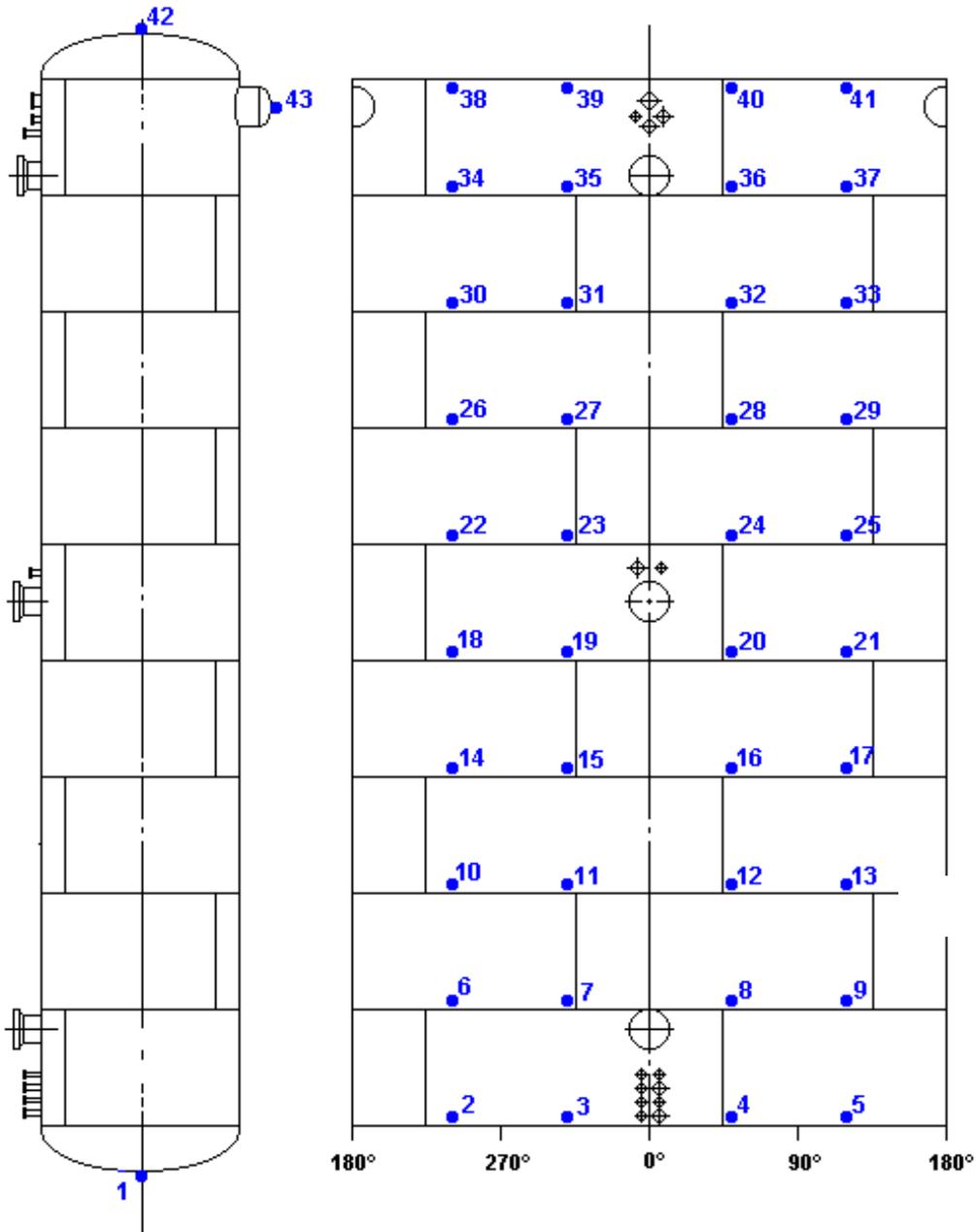
Le critère ⑦ est dépassé

8. RAPPORT FINAL – SPÉCIFICITÉS

Le rapport doit inclure en compléments des éléments généraux requis (voir § 9 du corps du guide) :

- La justification de la pression maximale de l'examen si celle-ci est inférieure à 110% PMA.
- La justification des zones couvertes non vérifiées (voir § 5.2.1 et 5.2.2)

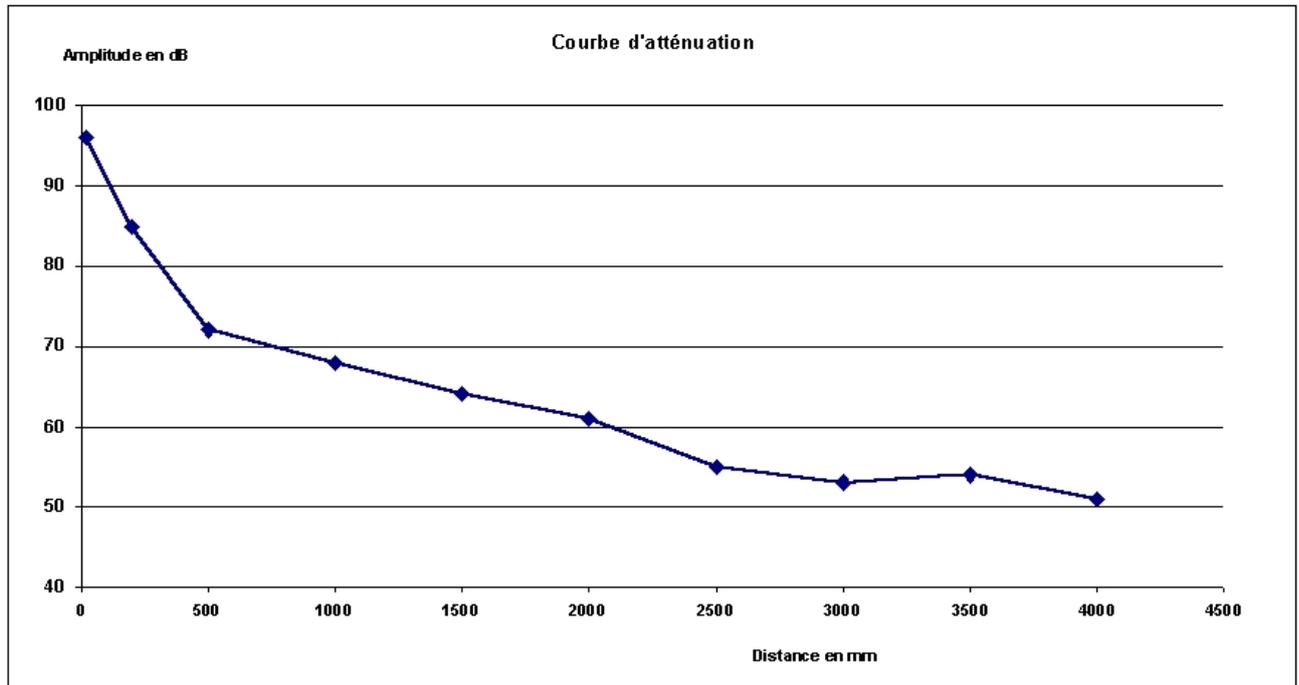
Diamètre : 3500 mm
 Longueur : 27000 mm
 Epaisseur : 35 mm
 Matériau : A48



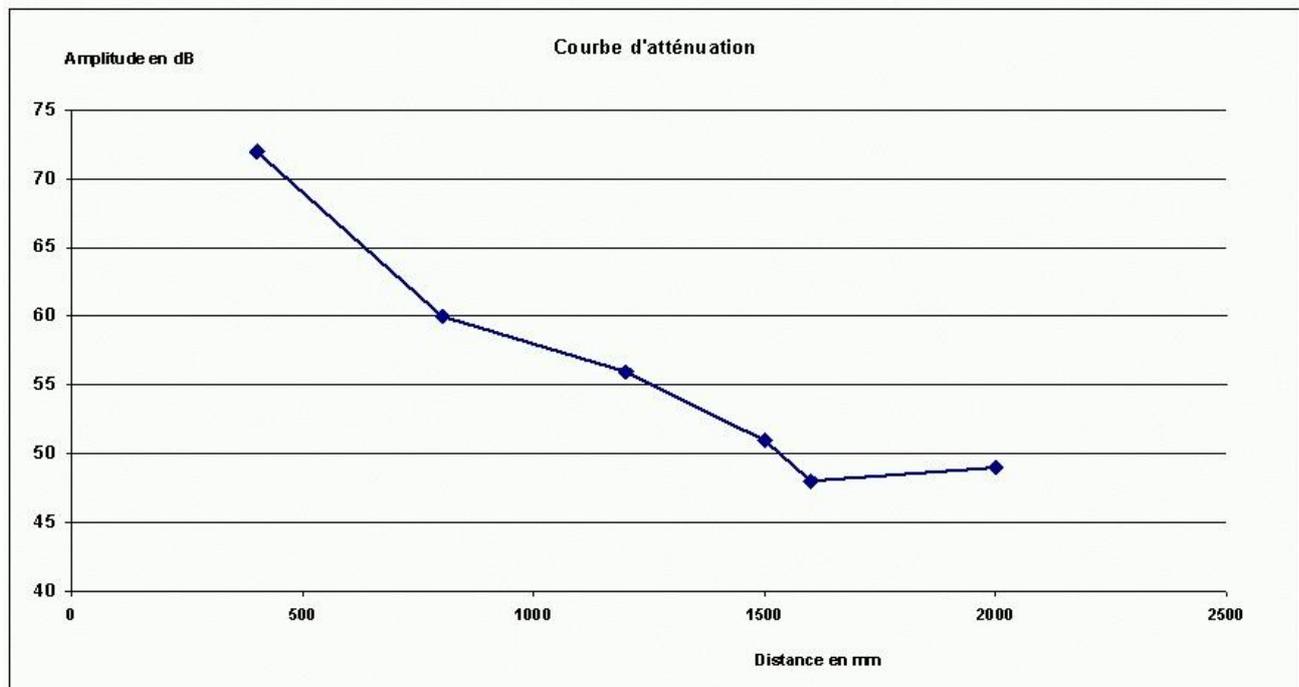
● Capteur EA

Figure 1 : exemple d'implantation de capteurs

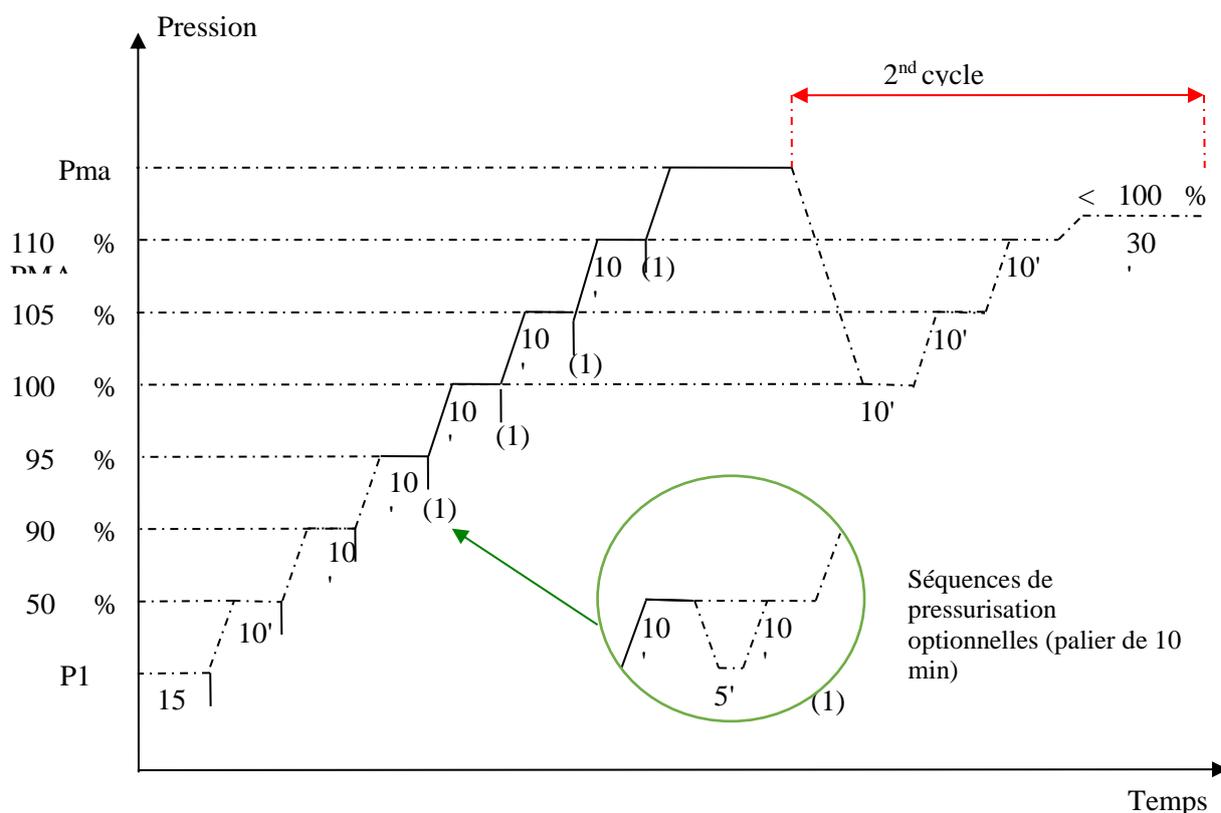
**Atténuation des ondes - Réservoir cylindrique horizontal à paroi nue
Matériau : acier A 48 CP**



**Atténuation des ondes - Réservoir cylindrique horizontal à paroi revêtue (frigorifuge)
Matériau : acier E28**

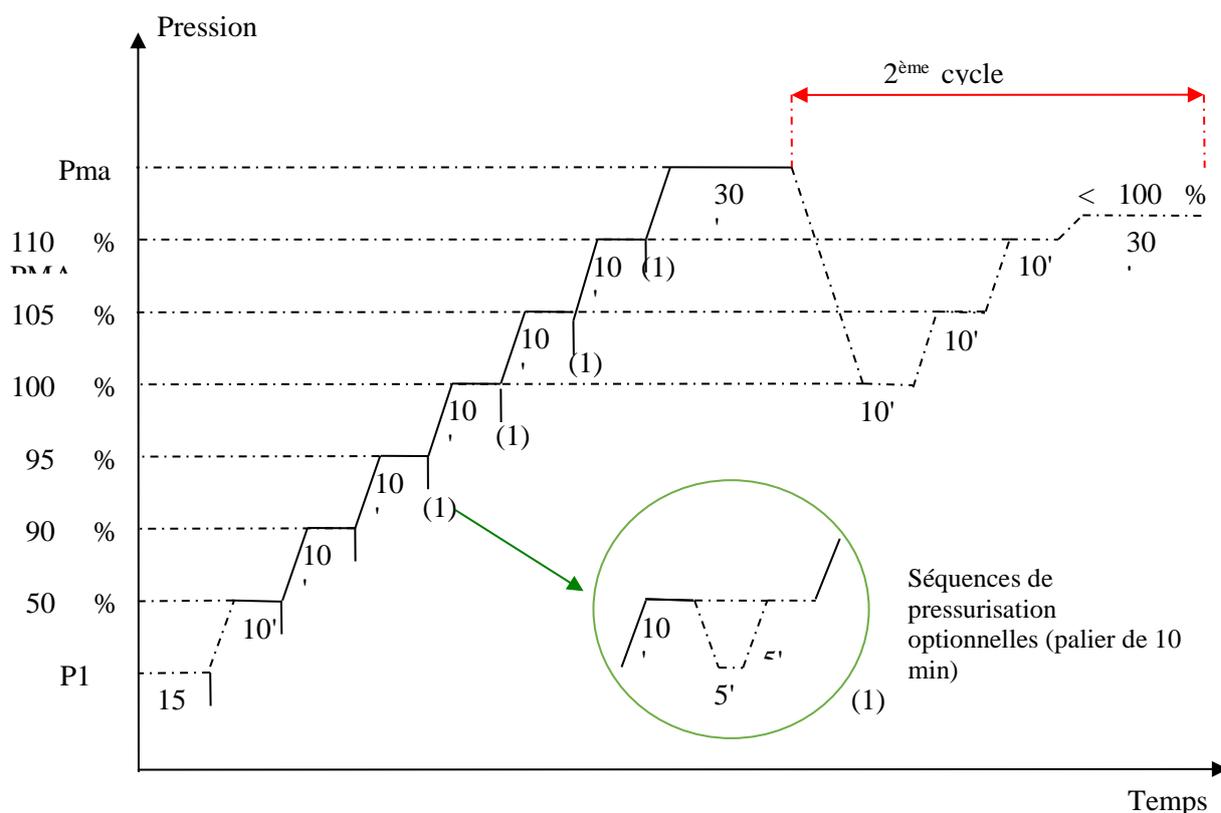


Figures 2 : Exemple de courbe d'atténuation (expérimentale)



- Cycle minimum à pratiquer entre 95 % PMA et Pmax,
- - - Option(s) à retenir en fonction de l'activité EA (voir § 7.2) ou pour vérification effet Kaiser ou à la demande d'une des parties
- Pmax Pression maximale d'essai ≥ 110 % de PMA
- PMA Pression Maximale Appliquée en service (période de référence)
- P1 Pression de début d'essai (inférieure ou égale à 95 % PMA)

Figure 3a : Exemple de Cycle de sollicitation en service



- Cycle minimum à pratiquer entre 50% PMA et Pmax, pour un essai à l'arrêt
- - - Option(s) à retenir en fonction de l'activité EA ou pour vérification de l'effet Kaiser ou à la demande d'une des parties
- Pmax Pression maximale d'essai > 110 % de PMA
- PMA Pression maximale appliquée en service (période de référence)
- P1 Pression de début d'essai (inférieure ou égale à 50% PMA pour un essai réalisé à l'arrêt)

Note : selon la pression de début d'essai, d'autres paliers peuvent être ajoutés, avant 50 % PMA

Figure 3b : Exemple de Cycle de sollicitation à l'arrêt

ANNEXE 7 – MÉTHODOLOGIE À APPLIQUER POUR L'ÉLABORATION D'UNE PROCÉDURE APPLICABLE AUX ESP EN MATÉRIAUX COMPOSITES

1. OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

Cette annexe s'applique aux équipements sous pression en matériaux composites entièrement renforcés de fibres, tels que :

- Réservoirs ou bouteilles, constitués ou non d'un liner, soit métallique (avec ou sans soudure), soit non métallique (ou une association de ces matériaux), entièrement renforcés par une structure composite de fibres longues de verre, de carbone (ou un mélange de ces matériaux) noyées dans une matrice organique thermodurcissable (exemple réservoirs ARI).
- Récipients (colonne à distiller, ballon, réservoirs tampons, ...) intégrés dans les procédés de fabrication des industries chimiques.
Ces équipements sont constitués de résine thermodurcissable (par exemple vinylester, polyester, ...) renforcée de fibres généralement de verre. Ils sont soit sans liner d'étanchéité interne, soit avec un liner non métallique.

Les températures d'utilisation de ces équipements sont comprises entre -40°C et 110°C.

La présente annexe s'applique notamment au cas des requalifications périodiques, des ESP à l'arrêt ou en service pour le remplacement de l'épreuve hydraulique par un autre essai de résistance sous pression.

La mise sous pression peut être hydrostatique ou pneumatique, à l'occasion d'un arrêt d'exploitation de l'équipement ou en service si les conditions opératoires le permettent. L'essai peut être réalisé avec le fluide de service ou avec tout autre fluide compatible.

Note 1 : Le cas des ESP transportables n'est pas traité dans cette annexe.

Note 2 : La mise en œuvre décrite dans ce document peut s'appliquer à des équipements en matériaux composites non couverts par le domaine d'application de la présente annexe, notamment les tuyauteries, les canalisations de transport et les réservoirs atmosphériques. Pour les réservoirs atmosphériques la cycle de sollicitation décrite au §7 devra être adaptée, notamment la PMA qui devra être remplacée par la HMA en tenant compte de la densité du liquide de remplissage, et suivre la séquence de sollicitation décrite sur la fig. 1 de la norme ASTM E 1067. La principale application est la vérification de l'intégrité mécanique de l'équipement dans un souci de sécurité.

2. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

Les documents utilisés pour la rédaction de la présente annexe sont ceux de l'annexe 1 du GBP de même que les normes suivantes :

- EN 15857 – Essais non destructifs – Emission acoustique – Essai des polymères renforcés par des fibres – Méthodologie spécifique et critères d'évaluation généraux
- ASTM E 2478 - 06a - Standard Practice for Determining Damage-Based Design Stress for Fiberglass Reinforced Plastic (FRP) Materials Using Acoustic Emission

- NF EN ISO 11623. Contrôle et essais périodiques des bouteilles à gaz en matériau composite

3. SPÉCIFICITÉS DES MATÉRIAUX COMPOSITES CONCERNÉS PAR LA PRÉSENTE ANNEXE

Ces matériaux sont composés essentiellement :

- d'une matrice en résine thermodurcissable (époxyde, vinylester, polyester, ...)
- de fibres de verre et/ou de carbone utilisées comme renforts soit de manière continue (enroulement filamentaire), soit discontinue (tissu, mat, ...).

Ces structures sont intrinsèquement hétérogènes. Leur degré d'anisotropie dépend de l'orientation des fibres et de l'empilement des différentes couches constituant le composite. Cette anisotropie aura une influence sur la propagation des ondes d'émission acoustique (vitesse, atténuation, ...).

Les principaux mécanismes d'endommagement, sources d'émission acoustique, sont :

- la fissuration de la matrice
- la rupture de fibres
- la rupture des interfaces "fibres -matrice", le déchaussement de fibres
- les délaminages
- les ruptures de joints collés, ...

L'application de l'émission acoustique permet de détecter et de suivre l'évolution des sources EA liées à ces différents mécanismes en fonction de la sollicitation appliquée lors de l'essai.

L'émission acoustique produite par une structure en composite dépend de nombreux facteurs tels que les composants du matériau, la composition du stratifié, le procédé de fabrication, la géométrie et les conditions ambiantes lors de l'essai (température, humidité, exposition à des milieux liquides ou gazeux ou au rayonnement ultraviolet, ...). L'interprétation des résultats d'émission acoustique dépend donc de la connaissance et de la prise en compte de ces différents facteurs.

Note : L'atténuation importante des ondes d'émission acoustique dans les matériaux thermoplastiques et leur faible émissivité rend difficile la détection d'un endommagement dans un liner thermoplastique.

4. DESCRIPTION DE L'INSTRUMENTATION ET RÉGLAGES

4.1 Instrumentation

Généralement l'endommagement des structures composites génère une émission acoustique discrète, de type salve, mais avec une forte activité qui peut donner l'impression d'une émission continue.

L'instrumentation d'EA utilisée devra être suffisamment performante pour pouvoir acquérir et traiter en temps réel et sans saturation de la chaîne d'acquisition, les nombreuses sources d'EA émises par ce type de matériau.

4.2 Capteurs

Les capteurs sont du type résonant avec une sensibilité minimale, à la fréquence de résonance, de +60 dB réf. volt/mètre/seconde (source transitoire) ou de -65 dB réf. volt/microbar. Ils sont

stables en sensibilité, sans parasitage, dans le domaine de température de l'essai. Le domaine de fréquence généralement utilisé se situe dans la bande de fréquence de 100 à 200 kHz.

Note : Quelques capteurs basse fréquence résonant dans la bande de fréquence de 30 à 75 kHz peuvent être utilisés pour caractériser l'environnement de la structure. Les ondes basse fréquence étant moins sensibles à l'atténuation, leur portée est plus longue. Ils sont toutefois plus sensibles aux bruits parasites (remplissage, environnement, ...).

En aucun cas les capteurs basse fréquence ne doivent être utilisés en substitution de capteurs haute fréquence pour la couverture de l'équipement à tester.

Une réception (point zéro) et un suivi dans le temps des caractéristiques des capteurs, doivent être réalisés suivant la norme EN 13477 par le prestataire.

4.3 Préamplificateurs

Ils peuvent être intégrés aux capteurs ou déportés. Le gain des préamplificateurs est compris entre 30 et 40 dB. Ils doivent assurer une dynamique allant du seuil d'acquisition à 100 dB_{EA}.

4.4 Filtre

Le filtrage global (préamplificateur + système) doit présenter une pente minimale de 24 dB/octave en dehors de la bande 30 à 1000 kHz. La bande de fréquence d'acquisition peut être plus étroite.

4.5 Réglages

La valeur du seuil d'acquisition est d'au moins 6 dB au-dessus de la valeur ASL/RMS (exprimée en dB_{EA}) du bruit de fond. Dans tous les cas, cette valeur doit être inférieure ou égale au seuil d'évaluation.

Note : Le choix d'un seuil d'acquisition inférieur au seuil d'évaluation doit être considéré dans le cas de la localisation linéaire ou planaire

Le temps de réarmement du système (défini comme le temps minimal de séparation de deux salves consécutives) doit être minimum, d'autant plus que dans ce type de matériau l'activité acoustique est très élevée (risque de chevauchement de salves) et que la réflexion est fortement diminuée du fait de l'importante atténuation de ces matériaux. Il est adapté aux conditions de propagation tout en assurant une détectabilité optimale.

Il n'est pas recommandé d'utiliser une valeur supérieure à 200 microsecondes.

Le prestataire doit disposer et appliquer un mode opératoire écrit de réglage de son instrumentation, lui permettant de définir sur site les conditions d'acquisition, de conditionnement et de traitement des signaux conformément aux normes européennes EN 13554, EN 13477-1 et - 2, EN 15495, EN 14584 et EN 15857.

Aucun filtre paramétrique (filtre numérique sur les valeurs des caractéristiques des salves EA) ne sera utilisé pour l'acquisition.

Les signaux enregistrés entre le seuil d'acquisition et le seuil d'évaluation doivent également être archivés pour tout traitement ultérieur.

5. DÉTERMINATION ET VÉRIFICATION DE L'IMPLANTATION DES CAPTEURS

5.1 Mesure de la vitesse et de l'atténuation

Les matériaux composites sont, de par leur constitution, des matériaux hétérogènes et anisotropes. L'anisotropie résulte principalement du volume et de l'orientation des fibres, elle affecte la propagation des ondes acoustiques au niveau de la vitesse et de l'atténuation.

De ce fait l'atténuation doit être mesurée, particulièrement pour les capteurs haute fréquence, dans plusieurs directions (circonférence + ligne à 45° par rapport à la circonférence).

Dans le cas où la structure testée est partiellement remplie de liquide, l'atténuation sera mesurée au-dessus et au-dessous du niveau de liquide.

La vitesse des ondes acoustiques dépend également de la direction de propagation observée. Il n'est pas toujours possible d'utiliser la technique de localisation planaire, sauf dans des mailles de dimensions réduites avec de faibles distances entre capteurs (de l'ordre de 1m).

5.2 Généralités

Le nombre de capteurs doit permettre un examen global de l'ensemble de la structure contrôlée, avec une analyse en localisation zonale et/ou planaire (si applicable). Des exemples d'implantation de capteurs sont donnés sur les figures 2 à 5.

Dans le cas où la paroi de l'appareil n'est pas accessible, le prestataire après concertation avec le donneur d'ordre, proposera la ou les solutions possibles avec leurs éventuelles limites pour assurer l'examen global de la structure (capteurs à demeure ou réalisation de puits d'accès) en conformité avec la présente annexe.

Dans le cas où les capteurs installés à demeure ne sont plus accessibles pour les examens futurs (équipements avec calorifuge, ...), le prestataire proposera une méthode de vérification de la sensibilité des voies, reproductible dans le temps, en accord avec la vérification initiale réalisée suivant la source Hsu-Nielsen. Cette méthode doit être référencée dans le rapport d'examen.

5.3 Distance entre capteurs

De même que pour les autres annexes du guide relatives aux matériaux métalliques, la vérification des performances de la chaîne d'acquisition sera généralement réalisée au moyen d'une mine de graphite 2H de 0,5 mm de diamètre et de 3.0 ± 0.5 mm de longueur, maintenue par un embout approprié (méthode Hsu-Nielsen).

La courbe d'atténuation est déterminée en effectuant des mesures, selon au moins deux directions à 45° dont une de préférence le long des fibres, en au moins 6 points répartis sur le rayon d'écoute d'un capteur haute fréquence, avec 3 ruptures au minimum par point.

L'amplitude de chaque rupture sera notée et permettra de déterminer dans chaque direction évaluée, le rayon d'écoute du capteur déterminé par l'intersection entre la courbe d'atténuation et le seuil d'acquisition. Le nombre de capteurs sera alors déterminé en fonction du rayon d'écoute et du type de localisation.

5.4 Localisation zonale

Le nombre et la position des capteurs doivent permettre de détecter toute simulation Hsu-Nielsen sur la structure par au moins un capteur avec une amplitude mesurée à ce capteur supérieure à la valeur du seuil d'évaluation (valeur maximale du seuil d'acquisition). La

distance maximale entre capteurs ne doit pas être supérieure à 1,5 fois le rayon d'écoute du capteur au seuil d'évaluation.

La détectabilité doit être vérifiée sur l'ensemble de la structure et plus particulièrement dans les zones de discontinuité (piquages, pieds, raccords de tuyauteries, réparations, pattes de fixation, ...). Lorsque nécessaire, des capteurs supplémentaires doivent être ajoutés.

6. MODE OPÉRATOIRE

6.1 Couplage des capteurs

La surface d'un composite n'étant pas régulière à l'échelle du capteur, on veillera à positionner les capteurs dans une zone aussi plane que possible. L'agent de couplage utilisé devra assurer une bonne transmission des ondes acoustiques et être compatible avec le matériau inspecté pour éviter toute dégradation de ce dernier (réaction chimique, agression locale, ...). Les capteurs seront maintenus en place, soit au moyen de ruban adhésif, soit au moyen de bracelets en caoutchouc et anneaux de fixation collés sur la structure examinée, ou tout autre moyen. Le couplage des capteurs doit rester stable au cours de l'essai et leur fixation ne doit pas générer de parasites acoustiques.

6.2 Vérification de la sensibilité des voies

Une vérification de la sensibilité doit être effectuée pour chacune des voies en utilisant une source normalisée et le résultat doit être enregistré.

La simulation par une source d'émission acoustique Hsu-Nielsen (0,5 mm - 2H) est réalisée à une distance de 150 mm de chaque capteur, l'amplitude minimale détectée par la moyenne d'au moins 3 ruptures de mine doit être supérieure ou égale à 80 dB_{EA} sans saturation de la chaîne.

Pour valider la sensibilité d'une voie, la dispersion des valeurs d'amplitude prises en compte ne doit pas excéder +/-3 dB autour de la moyenne. Pour des zones similaires (épaisseur, taux de fibre, position équivalente par rapport au niveau du liquide) la sensibilité de chaque voie ne doit pas excéder +/-3 dB autour de la moyenne des autres voies de cette zone.

La sensibilité de l'ensemble des voies ne doit pas excéder +/-6 dB autour de la moyenne.

Note: Des variations plus importantes de sensibilité peuvent être rencontrées en cas de singularités géométriques de la structure. Dans ces cas, un complément d'information devra être apporté en fonction des caractéristiques de la structure (% renforts, singularités, piquages, variation d'épaisseur, ...).

Note : L'atténuation dans le matériau peut varier significativement selon que l'équipement est ou non rempli de liquide. Il faudra donc en tenir compte lors du maillage des capteurs.

L'auto-calibration peut être utilisée pour s'assurer des dérives de la sensibilité au cours de l'essai. Cette possibilité ne doit pas gêner la mesure ou son interprétation.

Cet essai de vérification de sensibilité des voies doit être enregistré aussi bien en début qu'en fin d'essai.

Note : Lorsque cette vérification préalable est réalisée antérieurement au jour de l'essai, elle doit être répétée avant le début de l'essai. Lors d'un essai de longue durée, cette vérification doit être réalisée avec une périodicité maximum de 24 heures.

6.3 Vérification de la détectabilité et de la localisation

Une vérification de détectabilité dans chacune des zones de l'équipement et plus particulièrement les zones de discontinuité (piquages, supports, renforts, ...) sera réalisée au moyen de ruptures de mine Hsu-Nielsen afin de s'assurer que l'ensemble de la structure est bien couvert. Cette vérification sera enregistrée. Si une localisation zonale et/ou planaire est envisagée, elle devra également faire l'objet d'une vérification pour répondre aux exigences demandées. Cette vérification sera enregistrée. Lorsque nécessaire, des capteurs supplémentaires doivent être ajoutés.

Note : Cette opération permet de valider le schéma d'implantation des capteurs.

6.4 Vérification de la valeur du bruit de fond

La valeur du bruit de fond doit être vérifiée et enregistrée juste avant la mise sous sollicitation de l'équipement sur une période minimale de 15 minutes de façon à s'assurer qu'elle est inférieure au seuil d'acquisition diminué d'au moins 6 dB. Le prestataire et le donneur d'ordre chercheront à éliminer ou réduire les sources parasites externes ou internes. Il faudra notamment s'assurer que les conditions de raccordement à l'équipement soient telles que lors du remplissage ou de la mise sous pression de l'équipement le bruit de fond généré reste dans des limites acceptables.

Note : dans le cas du contrôle sur des équipements en série et dans un environnement connu, la durée d'écoute du bruit de fond pourra être réduite jusqu'à une valeur minimale de 5 minutes sous réserve de justifications dans la procédure.

Pour l'activité permanente initiale hors sollicitation, le nombre maximum de salves détectées sur chaque voie doit être, pour la durée d'écoute de 15 minutes :

- inférieur à 90 au seuil d'évaluation (50 dB_{EA}),
- inférieur à 450 à un seuil d'acquisition de 40 dB_{EA} (valeur à ajuster en fonction de la valeur du seuil d'acquisition).

De plus, la durée cumulée de ces salves détectées doit être inférieure à 1 % de la durée d'écoute, soit 9 secondes au seuil d'acquisition.

Pendant l'écoute du bruit de fond, l'activité et l'intensité permanentes initiales doivent être décroissantes.

Les sources parasites ne pouvant être éliminées (circulation de fluide, internes, ...) doivent être caractérisées pour être prises en compte lors de l'analyse et l'interprétation des données. Le prestataire disposera d'une méthodologie de filtrage et de traitement des données référencée dans son mode opératoire écrit.

7. CYCLE DE SOLLICITATION

Afin de requalifier l'équipement dans les conditions maximales d'utilisation (voir § 3.4.5 du corps du guide), celui-ci est de manière générale progressivement sollicité jusqu'à P_{max} qui sera au minimum de 110 % de la pression maximale appliquée en service (PMA) au cours de la période de référence préalable à l'essai (12 mois), suivant un cycle basé sur le cycle minimal décrit en figure 1. La durée minimale des paliers est de 10 minutes. Si le fluide de service ne peut pas être utilisé pour la surpression, il peut être remplacé par un gaz neutre, tel que l'azote par exemple.

Le cycle de pression doit commencer à une pression inférieure ou égale à 50 % de la PMA.

Le cycle de sollicitation à appliquer dépend du type d'équipement (sous vide et/ou sous pression) et de ses caractéristiques. Il doit intégrer les paramètres suivants :

- la vitesse de sollicitation (à adapter en fonction notamment du matériau pour éviter une émission continue et une élévation trop importante de la température). Les vitesses de montée en pression ne doivent pas excéder par minute 1 % (comprises entre 0,3 % et 1 %) ou 5 % (comprises entre 0,5 % et 5 %) de la pression maximale de l'essai respectivement pour un essai pneumatique et un essai hydraulique,
- la vitesse de dépressurisation doit être définie selon les recommandations du constructeur. Par défaut, elle devra être identique à la vitesse de pressurisation,
- le niveau et la durée des différents paliers de sollicitation,
- les cycles de sollicitations (déchargement - palier - rechargement) permettant d'évaluer l'effet Felicity.

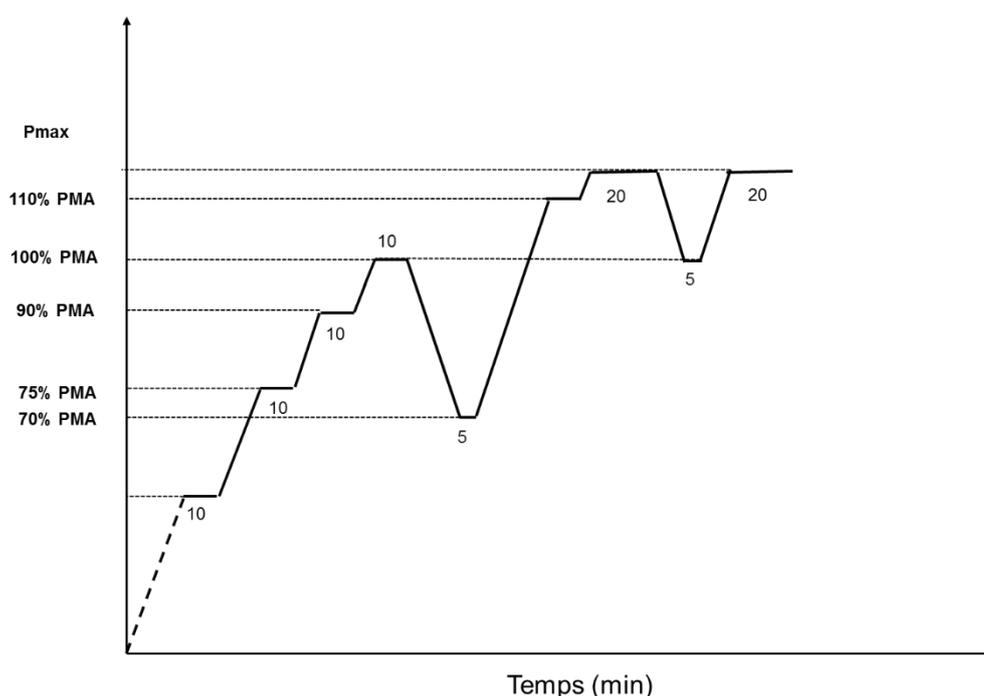


Figure 1 : Exemple de cycle minimal de sollicitation

Dans tous les cas, le signal de sollicitation devra être enregistré par le système d'émission acoustique afin de pouvoir le corrélérer aux données d'émission acoustique.

Note : la durée du palier de 5 min est une durée minimale pour obtenir une relaxation de contrainte de la structure.

8. CRITÈRES

8.1 Conditions de validation de l'essai

Les différents paramètres utilisés pour la validation de l'essai sont :

- le seuil d'évaluation : il doit être de 50 dB_{EA},
- le seuil d'acquisition : il doit être inférieur ou égal au seuil d'évaluation,

- le bruit de fond dont le niveau continu doit être inférieur au seuil d'acquisition moins 6 dB (la valeur maximale étant 44 dB_{EA}).

Note : Il est recommandé d'utiliser un seuil d'acquisition le plus bas possible pour ne pas pénaliser la localisation des sources dont l'amplitude est proche du seuil d'évaluation.

8.2 Critères spécifiques aux matériaux composites

- Rapport Felicity R_f

Le rapport Felicity R_f est défini à partir de l'apparition de 5 salves (au premier capteur atteint et au seuil d'évaluation) pendant un accroissement de 5 % de pression. Ce critère ne sera pris en compte que s'il est observé sur deux incréments de pression consécutifs, il sera défini entre 100 % de la PMA et Pmax.

- Nombre d'alternances Na

Le nombre d'alternances Na est déterminé par le nombre d'alternances généré par la rupture de 14 mines de 0,5 mm 2H à une distance du capteur correspondant à une amplitude de 60 +/- 1 dB_{EA}, selon la direction des fibres (principale ou apparente en surface) et à 45° de celle-ci.

La valeur Na est égale à la moyenne du nombre d'alternances obtenue pour chacune des deux directions multipliée par 10 (valeur mesurée à partir du seuil d'acquisition).

S'il y a lieu, cette détermination doit être réalisée de part et d'autre de la surface du liquide, et dans une région ou des régions représentatives de l'équipement selon les hétérogénéités (épaisseur, type de stratification, ...). Ces régions devront être identifiées dans le rapport.

- Durée minimale des salves attribuées à un délaminage : Dm

La durée minimale (Dm) des salves attribuées à un délaminage est de 5 ms

- Clusters de localisation

La taille des clusters est fixée à 100 mm en linéaire ou 100 mm x 100 mm en planaire.

Le seuil de déclenchement du cluster en activité (Nce) est fixé à 5 événements localisés

Le seuil de déclenchement du cluster en intensité (Ice) est fixé à un nombre d'alternances égal à 5/140 de Na.

8.3 Critères d'analyse en temps réel

En temps réel, les paramètres observés retenus sont ceux du § 8.2.3 du GBP. Ils permettent de définir les critères d'alarme et d'arrêt présentés dans le tableau 1.

- Seuil d'évaluation : 50 dB_{EA}.
- Seuil de référence : 75 dB_{EA}.

Tableau 1 : Critères temps réel

		CRITERES TEMPS REEL	
		Alarme	Arrêt
Emission continue		Oui	Oui
① bruit de fond (évolution)		+5 dB	+10 dB
② Activité, évolution/ zone (*)		$\Delta N/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de la pression	200 salves par seconde pendant 10 secondes
③ Intensité, évolution/ zone (*)		$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de la pression	$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de la pression
④ Nombre d'alternances/ zone (*) (**)		≥ 10 Na	≥ 100 Na
⑤ N_{2s} / zone (*) carbone		≥ 100	≥ 150
⑤ N_{2s} / zone (*) verre		≥ 50	≥ 100
⑥ N_{3s} / zone (*)		Maintien (***) ou croissance de l'activité pendant le palier	Maintien (***) ou croissance de l'activité pendant le palier
⑨ (Cluster)	Nce	≥ 10	≥ 50
	Ice	$\geq 10/140$ Na	$\geq 50/140$ Na

(*) L'émission acoustique enregistrée par zone prend en compte les salves détectées par le 1^{er} capteur atteint.

(**) La valeur de Na dépend de la position du capteur (en dessous ou au-dessus de la ligne de liquide).

(***) Maintien : absence de décroissance lors du palier

Le critère ① lié au bruit de fond doit être considéré indépendamment de l'émission discrète

Les critères ② et ③ liés à l'activité et l'intensité ne seront pris en compte qu'à partir d'une valeur de 50 salves détectées au seuil d'acquisition.

Note : l'activité des sources d'origine parasite n'est pas à prendre en compte dans les critères en temps réel, dans la mesure où elles sont identifiées et qu'elles ne masquent pas une émission acoustique significative.

8.3.1 Critères d'alarme temps réel

La décision de faire un palier et de diminuer la sollicitation sera prise :

- En cas d'émission continue
- ou
- Si le critère ⑥ est dépassé
- ou
- Si le critère ⑤ et le critère ③ sont dépassés
- ou si le critère ⑤ et le critère ④ sont dépassés
- ou
- Si le critère ⑨ (Nce +Ici) est dépassé

8.3.2 Critère d'arrêt temps réel

- En cas d'émission continue au seuil d'évaluation
- ou
- Si le critère ⑥ est dépassé
- ou
- Si le critère ⑤ et le critère ③ sont dépassés
- ou le critère ⑤ et le critère ④ sont dépassés
- ou

- Si le critère ⑨ (Nce +Ici) est dépassé

8.4 Critères d’analyse en temps différé et interprétation des données

Les données sont ensuite traitées et analysées pour réaliser le diagnostic de l’examen.

Le prestataire doit posséder une méthode adaptée et formalisée au cas de l’examen de l’équipement (procédures écrites, base de données, ...) et l’expérience suffisante correspondante, lui permettant notamment de définir et de justifier les filtrages éventuels et le traitement des données.

Le choix de la configuration de localisation conditionne l’analyse et certains critères associés définis dans les paragraphes suivants.

Tableau 2 : Critères en temps différé

Critères	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3
② Activité **	$\Delta N/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de la pression	$\Delta N/\Delta P$ constant avec l'augmentation de la pression	$\Delta N/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de la pression
③ Intensité **	$\Delta N/\Delta P$ constant avec l'augmentation de la pression	$\Delta N/\Delta P$ constant avec l'augmentation de la pression	$\Delta N/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de la pression
④ Nombre total d’alternances Na*	< Na	\geq Na	\geq Na
⑤ N_{2s} /Zone	< 10	\geq 10 et < 40	\geq 40
⑥ N_{3s}/Zone Emission en palier	Paliers intermédiaires : < 10 Palier final : < 20	Paliers intermédiaires : \geq 10 et < 50 Palier final : \geq 20 et < 80	Paliers intermédiaires : \geq 50 Palier final : \geq 80
⑦ Nombre de salves D > D_m	< 5	> 5 et < 10	\geq 10
⑧ Rapport Felicity ‘Rf’ (Fibre de verre)	> 0,9	\leq 0,9 et > 0,75	\leq 0,75
⑧ Rapport Felicity ‘Rf’ (Fibre de carbone)	> 0,9	\leq 0,9 et > 0,85	\leq 0,85
⑨ Nce	<10	>10	>50
⑨ Ice	<10/140Na	\geq 10/140Na	\geq 50/140Na

* : La valeur de Na dépend de la position du capteur (en dessous ou au-dessus de la ligne de liquide à la fin de l’essai).

** : Les critères liés à l’activité et l’intensité ne seront pris en compte qu’à partir d’une valeur de 50 salves détectées au seuil d’acquisition

Note : Le critère ⑥ est généralement associé à l’endommagement de la matrice.

Le critère ⑤ est généralement associé à des ruptures de fibres

Définition des catégories des zones et des clusters

► Catégorie 2

Les critères ② (activité) et ③ (intensité) sont au moins en catégorie 2
et
au moins deux critères parmi les critères ④, ⑤, ⑥, et ⑦ sont au moins en catégorie 2 ou le
critère ⑧ est en catégorie 2
ou
le critère ⑨ (Nce +Ici) est dépassé

► Catégorie 3

Un des deux critères ② (activité) et ③ (intensité) est en catégorie 3
et
au moins trois critères parmi les critères ④, ⑤, ⑥, ⑦ et ⑧ sont en catégorie 3
ou
le critère ⑨ (Nce +Ici) est dépassé

► Catégorie 1

Tout ce qui n'est pas en catégorie 2 ou 3

9. RAPPORT FINAL – SPÉCIFICITÉS

Le rapport doit inclure en complément des éléments généraux requis (voir paragraphe 9 du corps du Guide) :

- la justification de la pression maximale de l'examen si celle –ci est inférieure à 110% de PMA
- la justification des zones couvertes non vérifiées

ANNEXE 7

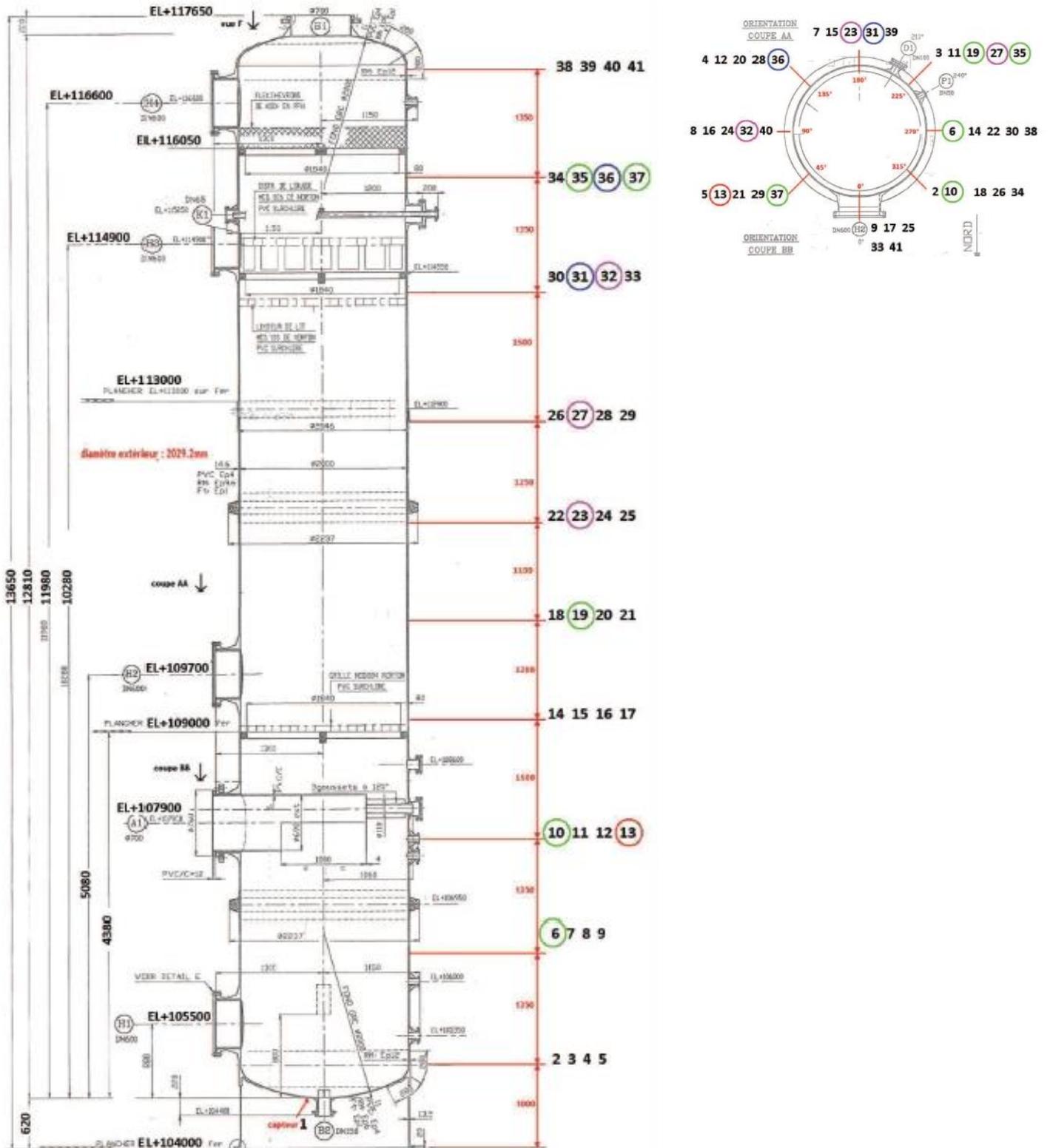


Figure 2 : Exemple d'implantation de capteurs sur une colonne en résine vinyloester renforcée de fibres de verre avec un liner thermoplastique.

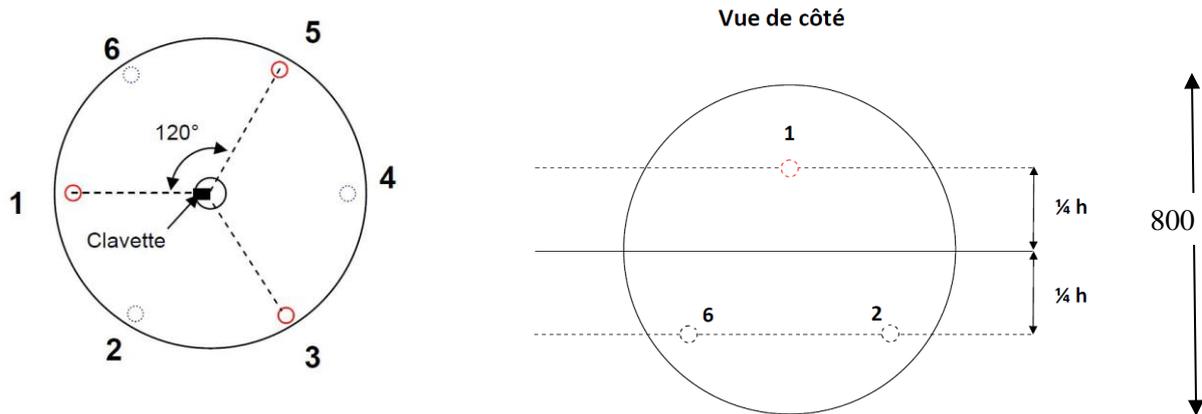


Figure 3 : Exemple d'implantation de capteurs sur une sphère à liner métallique renforcé par de la fibre de carbone et résine phénolique

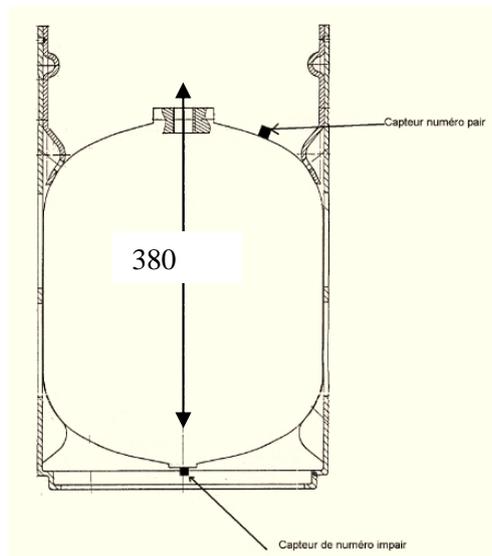


Figure 4 : Exemple d'implantation de capteurs sur une bouteille à liner thermoplastique renforcé par de la fibre de verre et résine époxy

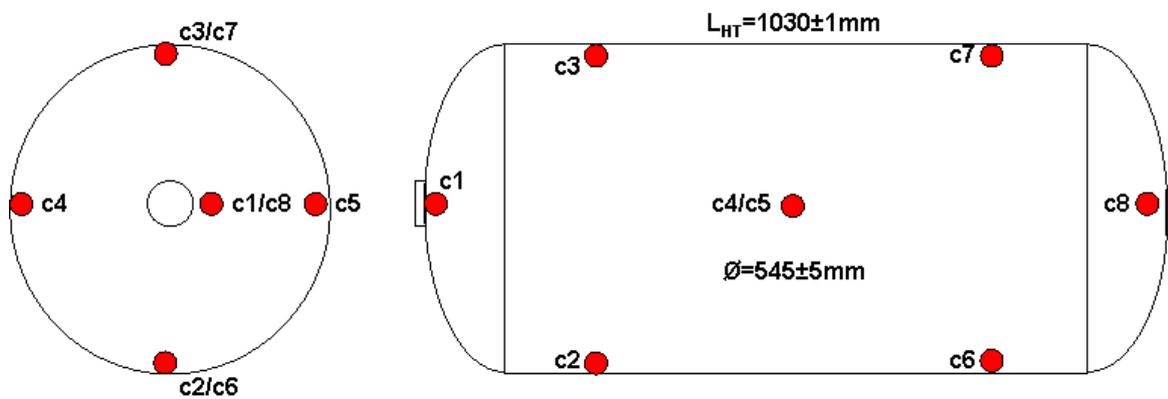


Figure 5 : Exemple d'implantation de capteurs sur un réservoir à liner thermoplastique renforcé par de la fibre de carbone et résine époxy.

ANNEXE 8 - MÉTHODOLOGIE À APPLIQUER POUR L'ÉLABORATION D'UNE PROCÉDURE APPLICABLE A DES RÉACTEURS

1. OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

Cette annexe s'applique aux réacteurs définis et caractérisés comme suit :

- récipients contenant ou non des internes et des charges catalytiques et dans lesquels se produisent des réactions chimiques (réacteurs, régénérateurs),
- matériaux : aciers, de limite d'élasticité inférieure ou égale à 460 MPa, non ou faiblement alliés au chrome molybdène, de structure ferritique *
- simple paroi,
- revêtus ou non (revêtement interne et/ou externe),
- aériens,
- calorifugés, ignifugés, ou non
- température de paroi : comprise entre $TS_{min} = 0^{\circ}C$ et $TS_{max} = 550^{\circ}C$,
- contenu : fluides liquides et/ou gazeux.

La présente annexe s'applique également aux réacteurs en service, dans les limites de la faisabilité décrites aux § 3 et §6.4.2.1.

Cette annexe est applicable aux réacteurs à l'arrêt dans les limites décrites (température, sollicitations autres que la pression, ...) aux § 3 et §6.4.2.2.

Cette annexe décrit les modalités de réalisation d'un essai sous pression suivi par émission acoustique, notamment dans le cadre de la requalification périodique des réacteurs pour le remplacement de l'épreuve hydraulique.

Le cas de l'essai de résistance de réception, réalisé en fin de fabrication, n'entre pas dans le champ d'application de la présente annexe.

Cette annexe précise les différents paramètres que le prestataire doit prendre en compte et doit porter dans la procédure spécifique du réacteur ou du type de réacteurs, afin notamment de :

- définir le nombre et l'implantation des capteurs
- répondre aux exigences de sensibilité des voies, de détectabilité
- fixer les seuils d'évaluation, de référence, les critères d'analyse applicables
- définir le cycle de sollicitation

(*) Aciers alliés considérés, ayant un comportement similaire à ceux des aciers non alliés dont la teneur est inférieure ou égale à 5 % chrome.

2. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

Les documents utilisés pour la rédaction de la présente annexe sont ceux de l'annexe 1 du GBP.

3. VÉRIFICATION DE LA FAISABILITÉ DE L'ESSAI ET PRÉPARATION DE L'ESP PAR L'EXPLOITANT

Afin de valider la pertinence de l'essai, l'exploitant vérifie que la sollicitation principale du réacteur à contrôler est la pression. Dans le cas contraire, le prestataire doit, pour établir la procédure de l'essai, tenir compte des autres modes de sollicitation (gradient de température,...).

Dans le cas où l'essai est réalisé à une température inférieure à la température de service, l'exploitant s'assure que le taux de contraintes dans le réacteur à la température de l'essai demeure au moins égal à 110 % de celui qui serait induit à la température de service. Dans le cas contraire, une analyse des contraintes doit être réalisée et le cycle de pression doit être adapté par le prestataire en liaison avec l'exploitant pour que le taux de contraintes dans le réacteur demeure au moins égal à 110 % de celui qui résulte des conditions de service. De plus, l'exploitant vérifie que le matériau ne se trouve pas dans le domaine de la rupture fragile. L'exploitant vérifie au préalable que l'essai envisagé peut être mené dans le respect des dispositions applicables à l'équipement sous pression et à l'installation en cause, notamment si les essais sont effectués en exploitation.

L'exploitant s'assure que tous les éléments susceptibles de constituer des sources parasites (par exemple : vannes à opercules, clapets anti-retour, éléments externes mobiles à l'ESP, ...) sont déposés si les conditions d'essai le permettent notamment pour les essais à l'arrêt.

4. DESCRIPTION DE L'INSTRUMENTATION ET RÉGLAGES

4.1. Système

Une chaîne d'acquisition (capteur - préamplificateur - système d'acquisition) est utilisée ; elle doit permettre d'assurer les fonctions suivantes :

- acquisition de l'ensemble des salves d'émission acoustique simultanément, en temps réel, sur toutes les voies. Les principaux paramètres extraits de chaque salve étant : le temps d'arrivée de la salve, et les paramètres de forme : amplitude, énergie, nombre d'alternances, durée, temps de montée,... avec une vitesse d'acquisition suffisante pour éviter la saturation du système et la perte de données
- analyse en temps réel des données avec une visualisation d'indicateurs de l'importance des sources d'EA afin de permettre une interprétation en temps réel des données enregistrées pendant l'essai
- enregistrement de la valeur ASL/RMS sur l'ensemble des voies
- enregistrement de l'évolution des paramètres de sollicitation (pression, température) (voir § 6.4.1)
- mise en œuvre d'un nombre de processus d'analyse indépendants (algorithmes de localisation...) et adaptés au cas du réacteur contrôlé, notamment pour les réacteurs à structure et géométrie complexes
- auto calibration (vérification de la sensibilité des voies)
- stockage des données brutes sur le disque dur du système, en parallèle de l'analyse en temps réel.

4.2. Capteurs

Les capteurs sont du type résonant dans la bande de fréquence 100 – 500 kHz avec une sensibilité minimale, à la fréquence de résonance, de 60 dB ref. volt/mètre/seconde (source

transitoire) ou de -65 dB ref. 1volt/micro bar. Ils sont stables en sensibilité, sans parasitage, dans le domaine de température de l'essai.

Des guides d'onde fixés à la paroi de l'équipement peuvent également être utilisés selon les températures de paroi TS_{min} et TS_{max} des réacteurs.

Une réception (point zéro) et un suivi dans le temps des caractéristiques des capteurs, doivent être réalisés par le prestataire suivant la norme EN 13477.

4.3. Préamplificateur

Il peut être intégré au capteur ou déporté. Le gain du préamplificateur est de 34 ou 40 dB. Il doit assurer une dynamique allant du seuil d'acquisition à 100 dB_{EA}.

4.4. Filtre

Le filtre global (préamplificateur + système) doit être au minimum de 24 dB/octave en dehors de la bande de 50 à 1000 kHz. La bande de fréquence d'acquisition peut être plus étroite.

5. VÉRIFICATION DE LA FAISABILITÉ DE L'EXAMEN EN EA PAR LE PRESTATAIRE

Une vérification préalable de l'activité EA du réacteur en service peut être nécessaire pour évaluer :

- les bruits de fond et l'activité EA permanente initiale dus aux sources externes à l'enveloppe contrôlée (équipements au voisinage immédiat du réacteur : machines tournantes, vannes,...),
- les bruits d'origine interne : circulation des fluides du procédé, organes internes à l'équipement dont certains peuvent être en mouvement et/ou en vibration,

Les mesures préliminaires (bruit de fond, atténuation, vitesses de propagation,...) doivent être réalisées dans les conditions de service les plus proches de celles envisagées pour le contrôle et indiquées dans le rapport. Une durée d'écoute supérieure à 15 min peut être nécessaire pour identifier ces bruits et caractériser l'activité permanente initiale.

6. MODE OPÉRATOIRE

6.1. Réglages de l'instrumentation

La valeur du seuil d'acquisition est d'au moins 6 dB au-dessus de la valeur du bruit de fond ASL/RMS. Dans tous les cas cette valeur doit être inférieure ou égale au seuil d'évaluation (voir § 6.5.1). Elle conditionne la zone couverte par les capteurs.

Note : Il est recommandé d'utiliser un seuil d'acquisition le plus bas possible pour ne pas pénaliser la localisation des sources dont l'amplitude est proche du seuil d'évaluation. Les valeurs du critère N_{ce} du tableau 1 sont établies pour un seuil d'acquisition de 40 dB_{EA}.

Le temps de réarmement du système (défini comme le temps minimal de séparation de deux salves consécutives) doit être minimum et dans tous les cas inférieur à 1000 microsecondes. Il est adapté aux conditions de propagation tout en assurant une détectabilité optimale.

Le mode opératoire écrit de réglage de l'instrumentation, basé sur l'expérience de ce type d'examen, permet de définir sur site les conditions d'acquisition, de conditionnement et de traitement des signaux conformément aux normes européennes EN 13554, EN 13477-1 et - 2, EN 15495 et EN 14584.

Si pour des raisons liées au procédé, il est nécessaire d'utiliser un filtre paramétrique (filtre numérique sur les valeurs des caractéristiques des salves EA) pour l'acquisition, celui-ci doit être justifié et indiqué dans le mode opératoire du prestataire et dans le rapport. Son influence sur l'acquisition des données doit être évaluée.

Les salves enregistrées entre le seuil d'acquisition et le seuil d'évaluation doivent être également archivées pour tout traitement ultérieur.

6.2. Détermination de l'implantation des capteurs

6.2.1. Généralités

Le nombre de capteurs doit permettre un examen global de l'ensemble des parois résistant à la pression du réacteur. Le système d'émission acoustique doit permettre une analyse en localisation zonale et planaire (dans les limites à définir, voir § 6.2.3).

Des exemples d'implantation de capteurs sur des schémas développés de réacteurs sont donnés aux figures 2a, 2b et 2c.

D'autres capteurs peuvent être ajoutés afin de couvrir des zones pour lesquelles une écoute particulière est nécessaire (réparations, proximités de supports, de piquages, d'accessoires, ...). Dans ce cas particulier, des critères spécifiques doivent être définis par le prestataire.

Dans le cas où la paroi de l'appareil n'est pas accessible, le prestataire après concertation avec le donneur d'ordre, lui proposera la ou les solutions possibles avec leurs éventuelles limites pour assurer l'examen global de la structure (capteurs à demeure, réalisation de puits d'accès ou mise en place de guides d'ondes pour rendre la paroi contrôlable localement) en conformité avec la présente annexe.

Dans le cas de l'utilisation de capteurs installés à demeure et non accessibles par la suite, le prestataire doit définir les dispositions nécessaires pour garantir la surveillance globale de la structure dans le temps (par exemple : en cas de défaillance d'un ou de plusieurs capteurs).

Dans le cas où les capteurs ne seront plus accessibles pour les examens futurs (par exemple capteurs noyés à demeure dans un calorifuge, frigorifuge), le prestataire proposera une méthode de vérification de la sensibilité des voies, reproductible dans le temps, intégrée à la vérification initiale réalisée suivant la source Hsu-Nielsen selon les exigences du § 6.3.1. Cette méthode doit être référencée dans le rapport d'examen.

Dans le cas où les résultats d'examens effectués selon cette procédure à des périodes différentes doivent être comparés, des dispositions particulières doivent être prises pour tenir compte du changement de configuration que le réacteur aura pu subir entre temps (ex : position verticale / horizontale).

6.2.2. Distance entre capteurs

Le rayon d'écoute intrinsèque du capteur pour la source Hsu-Nielsen est déterminé par l'intersection entre la courbe d'atténuation et le seuil d'acquisition. Cette courbe est déterminée en effectuant des mesures en au moins 6 points, répartis sur le rayon d'écoute, avec a minima 3 ruptures par point. Il sera tenu compte de l'influence des caractéristiques particulières de l'application, notamment du revêtement et de l'environnement sur l'atténuation (voir exemple à la figure 3).

6.2.3. Nombre de capteurs

6.2.3.1. Validation de la localisation zonale

Le nombre minimal et la position des capteurs doivent permettre de détecter toute rupture Hsu-Nielsen sur la structure par au moins un capteur avec une amplitude mesurée à ce capteur supérieure à la valeur du seuil d'évaluation (valeur maximale du seuil d'acquisition) spécifié au § 6.5.1. La distance maximale entre capteurs ne doit pas être supérieure à 1,5 fois le rayon d'écoute du capteur au seuil d'évaluation afin de valider la localisation zonale.

6.2.3.2. Validation de la localisation planaire

La détection des événements par au moins trois capteurs d'une maille est la condition qui permet de localiser les sources d'émission acoustique (clusters) présentes dans la structure.

La localisation planaire est considérée comme globale, si :

- le nombre et la position des capteurs permettent de localiser toute rupture Hsu-Nielsen sur la structure (détection par le nombre de capteurs nécessaires pour appliquer l'algorithme de calcul)
- la distance maximale entre les capteurs d'une maille est telle qu'à partir d'une source Hsu-Nielsen générée à une distance de 3 à 5 cm d'un capteur, l'amplitude du signal détecté au niveau de tous les capteurs d'une même maille, est supérieure ou égale au seuil d'acquisition plus 6 dB.
Dans le cas contraire, les limites des régions localisables sont précisées par le prestataire.

6.3. Vérifications

Les vérifications se font dans les conditions du contrôle, avant et après l'essai.

6.3.1. Vérification de la sensibilité des voies

La vérification de la sensibilité des voies est réalisée avec une source Hsu-Nielsen, à une distance de 5 cm de chaque capteur, l'amplitude détectée par la moyenne de a minima 3 ruptures de mine, doit être supérieure ou égale à 80 dB_{EA}, sans saturation de la chaîne.

Note : en cas de saturation de l'instrumentation, la vérification se fait à une distance supérieure (indiquée dans le rapport), l'amplitude minimale détectée doit être dans tous les cas de 80 dB_{EA}

Dans le cas d'utilisation de guides d'onde, la perte de sensibilité doit être mesurée et enregistrée, le prestataire doit indiquer les conséquences éventuelles sur la détectabilité, sur la couverture de l'équipement et sur les critères appliqués.

Dans le cas où les capteurs ne sont pas accessibles, la méthode de vérification initiale (voir § 6.2.1) est appliquée dans les conditions de l'essai pour garantir la reproductibilité dans le temps de la réponse des capteurs.

6.3.2. Vérification de la détectabilité

La détectabilité doit être vérifiée dans les zones de discontinuité accessibles (piquages, pieds, soudures,...). Lorsque nécessaire, d'autres capteurs doivent être ajoutés.

Dans le cas où les zones de discontinuités ne sont pas accessibles, cette vérification pratique est impossible, le prestataire justifie la couverture de ces zones ou émet des réserves (à indiquer dans le rapport).

6.3.3. Vérification de la localisation planaire des discontinuités

La localisation doit être vérifiée dans les zones de discontinuité (piquages, pieds, tuyauteries soudées, soudures,...). Lorsque nécessaire, d'autres capteurs doivent être ajoutés.

La précision de la localisation doit être vérifiée par simulation (source Hsu-Nielsen, générateur d'impulsions, ...), sauf dans les zones où la paroi n'est pas accessible. Dans ce dernier cas, le prestataire doit indiquer dans le rapport qu'il n'a pas pu vérifier la précision de la localisation et doit donner la dimension de la zone concernée pour toute investigation éventuelle ultérieure.

La garantie de localisation est limitée aux zones simulées.

Dans le cas où les discontinuités ne sont pas ou plus accessibles, cette vérification pratique est impossible. Elle se limite à la vérification initiale si les discontinuités étaient accessibles (à indiquer dans le rapport).

6.3.4. Vérification du bruit de fond et identification des sources externes

La valeur maximale du bruit de fond est mesurée et enregistrée juste avant l'essai sur une durée minimale de 15 minutes. Cette valeur doit être inférieure au seuil d'acquisition moins 6 dB. La durée de l'écoute peut être prolongée si nécessaire pour caractériser les bruits induits par le process.

Pour l'activité permanente initiale hors sollicitation contrôlée, le nombre maximum de salves détectées sur chaque voie doit être, pour la durée d'écoute de 15 minutes :

- inférieur à 90 au seuil d'évaluation (50 dB_{EA})
- inférieur à 450 à un seuil d'acquisition de 40 dB_{EA} (valeur à ajuster en fonction de la valeur du seuil d'acquisition). Le nombre de voies concernées ne peut dépasser 20 % du nombre total des voies d'acquisition.
- de plus la durée cumulée de ces salves détectées doit être inférieure à 1 % de la durée d'écoute, soit 9 secondes au seuil d'acquisition.

Les sources externes parasites dues à la circulation de fluide procédé, aux liaisons à des internes, ... doivent être identifiées afin d'être soit éliminées, soit caractérisées pour être prises en compte lors de l'analyse et l'interprétation des données. Le prestataire doit disposer d'une méthodologie de filtrage et de traitement des données référencée dans son mode opératoire écrit.

6.4. Moyens et cycle de pressurisation de l'essai sous pression

6.4.1. Moyens et exigences à charge de l'exploitant pour la mise sous pression

La mise sous pression est réalisée et maîtrisée, par l'exploitant. Il doit assurer le cycle de pression nécessaire à la validation du contrôle EA, en prenant les mesures de sécurité adaptées, il doit notamment être en mesure de réduire rapidement la pression en cas de déclenchement d'alarme en temps réel (voir § 6.5.2.1). De plus, il mettra à disposition des moyens adaptés de communication en temps réel entre le pilote du cycle de pression et le responsable du contrôle EA.

Le cycle de pression étant basé sur l'historique des conditions d'exploitation, il doit certifier les valeurs maximales des sollicitations au cours de la période de référence.

L'exploitant doit fournir les moyens de mesures de la sollicitation (pression, température, ...), notamment une ou des sortie(s) paramétrique(s) compatible(s) avec le système d'acquisition en vue de l'enregistrement. De plus, l'incertitude de la mesure de la pression doit être inférieure ou égale à 0,5 %.

6.4.2. Cycle de pression

6.4.2.1. Essai en service

Afin de contrôler l'équipement dans les conditions maximales d'utilisation, notamment dans le cadre de la requalification, celui-ci est de manière générale :

- en fonctionnement, à la température de service (voir § 3), dans les conditions de chargement maximales pour les sollicitations autres que la pression. Dans le cas des réacteurs contenant des fluides multiphasés liquide/gaz, la hauteur du fluide pendant l'essai est supérieure ou égale à la hauteur maximale d'utilisation en service, (voir note ci-après) puis,
- progressivement pressurisé jusqu'à P_{max} dont la valeur minimale dépend de la pression maximale appliquée (PMA) en service au cours de la période de référence considérée.

La période de référence (PR) est au minimum de 6 mois avant l'essai de pression. Elle est définie par le temps entre le moment J_{pma} où la PMA retenue a été atteinte pour la dernière fois et le moment J_o de l'essai.

La pression P_{max} à appliquer est à définir à l'aide de la figure 1 ci-après. Elle est au minimum de 110 % PMA pour une période de référence de 6 mois et au minimum de 105% PMA pour une période de référence de 12 mois,

Une sollicitation maximale inférieure à 110 % PMA n'est envisageable que lorsque des difficultés d'ordre technique s'opposent à ce que cette pression d'essai soit fixée. Dans ce cas, elle peut être diminuée jusqu'à 105 % PMA à condition que la sensibilité du dispositif mis en place soit renforcée afin de compenser la perte d'informations consécutive à une sollicitation moins importante et que la période de référence soit augmentée (12 mois pour 105 % PMA).

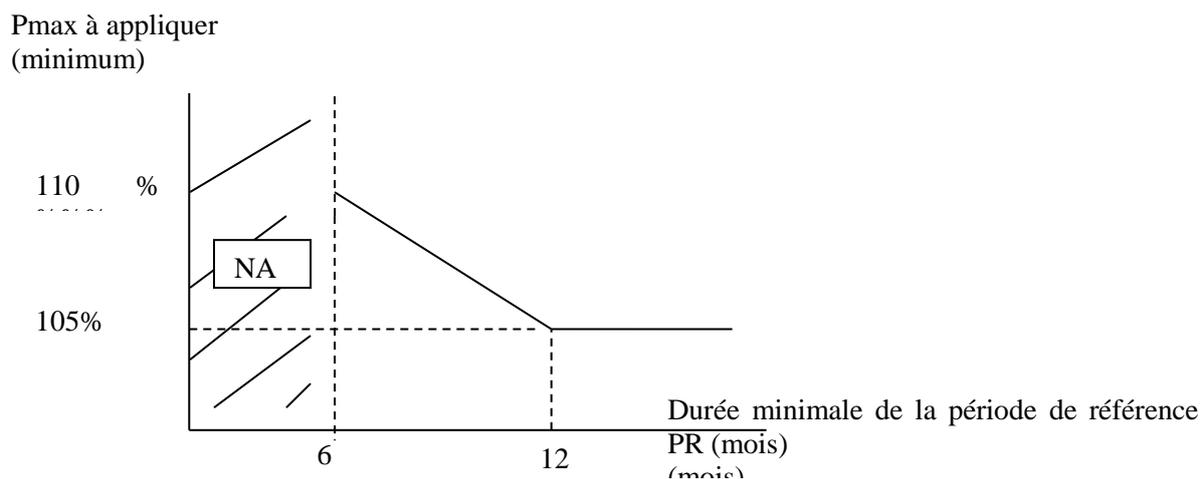


Figure 1 : Diagramme Pmax en fonction de la durée minimale de la période de référence P_R (mois)

La montée en pression jusqu'à Pmax est réalisée suivant un cycle minimum tel que décrit en figure 4a. La durée minimale des paliers est de 10 minutes (30 min pour le palier final à Pmax).

Si le fluide de service ne peut pas être utilisé pour la surpression, la pressurisation peut être assurée à l'aide d'un gaz neutre compatible avec le fluide du procédé tel que l'azote (le réacteur ne sera pas obligatoirement vidé de son fluide procédé).

Le cycle de pression doit commencer à une pression inférieure ou égale à 95 % PMA lors des essais en service.

Le second cycle, réalisé à une pression inférieure ou égale à 100 % de la pression maximale d'essai, est optionnel suivant des critères d'activité EA (voir § 6.5.2).

Des descentes et/ou paliers intermédiaires (cycles de pressurisation optionnels) doivent être ajoutés :

- en cas de dépassement de critère(s) d'alarme (voir § 6.5.2)
- pour vérification de l'effet Kaiser
- à la demande d'une des parties
- pour identifier les signaux dus à des sources extérieures.

Dans ce cas, la pression est descendue à la pression du palier précédent, la durée des paliers à pression réduite est au minimum de 5 minutes.

Les vitesses de montée et de descente en pression ne doivent pas excéder par minute 1 % (comprises entre 0,1 % et 1 %) ou 5 % (comprise entre 0,5 % et 5 %) de la pression maximale de l'essai respectivement pour un essai pneumatique et un essai hydrostatique.

Note : la vitesse doit être compatible avec la recommandation du fabricant

La pression doit être maintenue lors des paliers, pour l'application des critères associés. La variation de pression maximale acceptable au cours d'un palier est de 3 % de la pression du palier pour les paliers de 10 min et de 5 % de la pression du palier final de 30 min.

Note : Dans le cas où la hauteur du fluide au cours de l'essai est inférieure à la hauteur maximale admissible en service, la pression maximale de l'essai (Pmax) est corrigée en tenant compte de la pression hydrostatique correspondant à cette différence de pression).

6.4.2.2. Essai à l'arrêt

Afin de procéder à l'essai de l'équipement dans les conditions maximales d'utilisation, celui-ci est de manière générale :

- rempli en liquide process (cas des ESP contenant des fluides multiphasés liquide/gaz) à sa hauteur maximale admissible de service puis,
- progressivement sollicité jusqu'à P_{max} qui sera au minimum de 105 à 110 % PMA en fonction de la période de référence (voir figure 1 au § 6.4.2.1). Une sollicitation maximale inférieure à 110 % PMA n'est envisageable que lorsque des difficultés d'ordre technique s'opposent à ce que cette pression d'essai soit fixée. Dans ce cas, elle peut être diminuée jusqu'à 105 % PMA à condition que la sensibilité du dispositif mis en place soit renforcée afin de compenser la perte d'informations consécutive à une sollicitation moins importante et que la période de référence soit augmentée (12 mois pour 105 % PMA).

La montée en pression jusqu'à P_{max} est réalisée suivant un cycle minimum tel que décrit en figure 4b. La durée minimale des paliers est de 10 minutes.

Si le fluide de service ne peut pas être utilisé pour la surpression, il peut être remplacé par un gaz neutre tel que l'azote par exemple.

Le cycle de pression doit commencer à une pression inférieure ou égale à 50 % PMA.

Le second cycle, réalisé à une pression inférieure ou égale à 100 % de la pression maximale d'essai, est optionnel suivant des critères d'activité EA (voir § 6.5.2).

Des descentes et/ou paliers intermédiaires (cycles de pressurisation optionnels) doivent être ajoutés :

- dans le cas du dépassement de critère(s) d'alarme (voir § 8.2.3 du corps du guide)
- pour vérification de l'effet Kaiser
- à la demande d'une des parties
- pour identifier les signaux dus à des sources extérieures.

Dans ce cas, la pression est descendue à la pression du palier précédent, la durée des paliers à pression réduite est au minimum de 5 minutes.

Les vitesses de montée et de descente en pression ne doivent pas excéder par minute 1% (comprises entre 0,1 % et 1 %) ou 5 % (comprise entre 0,5 % et 5 %) de la pression maximale de l'essai respectivement pour un essai pneumatique et un essai hydrostatique.

Note : la vitesse doit être compatible avec la recommandation du fabricant

La pression doit être maintenue lors des paliers, pour l'application des critères associés. La variation de pression maximale acceptable au cours d'un palier est de 3 % de la pression du palier pour les paliers de 10 min et de 5 % de la pression du palier final de 30 min.

Note : Dans le cas où la hauteur du liquide process au cours de l'essai est inférieure à la hauteur maximale admissible la requalification de l'équipement à cette hauteur est assurée seulement si la pression maximale de l'essai est corrigée en tenant compte de la pression hydrostatique correspondant à cette différence de hauteur.

6.5. Suivi de l'essai

Le prestataire doit posséder une méthode d'acquisition des données et d'analyse temps réel, adaptée et formalisée au cas de l'examen du réacteur (procédure écrite, base de données, seuils, critères, ...) et l'expérience suffisante, lui permettant notamment de définir et de justifier les filtrages éventuels et le traitement des données.

6.5.1. Conditions de validation de l'essai

Les valeurs des différents paramètres utilisés pour la validation de l'essai doivent être données par le prestataire dans sa procédure.

Pour les aciers inclus dans le domaine d'application de cette annexe, ils sont:

- Seuil d'évaluation : 50 dB_{EA}
- Seuil d'acquisition : inférieur ou égal au seuil d'évaluation
- Bruit de fond (niveau continu, exprimé en dB_{EA}): inférieur au seuil d'acquisition moins 6 dB (la valeur maximale étant 44 dB_{EA} dans le cas de l'exemple cité).

Voir note du corps du guide § 8.2.2.

Note : Il est recommandé d'utiliser un seuil d'acquisition le plus bas possible pour ne pas pénaliser la localisation des sources dont l'amplitude est proche du seuil d'évaluation.

6.5.2. Critères d'analyse en temps réel

En temps réel, les paramètres observés retenus sont ceux du § 8.2.3 du corps du guide. Ils permettent de définir les critères d'alarme et d'arrêt présentés dans le tableau 1.

Pour les aciers inclus dans le domaine d'application de cette annexe, ils sont :

- Seuil d'évaluation : 50 dB_{EA}
- Seuil de référence : 65 dB_{EA}
- Critères de déclenchement des clusters :
 - Taille : 10 % de la distance entre capteurs
 - Seuil en activité : 5 événements dont l'amplitude est supérieure au seuil d'évaluation (50 dB_{EA}) au 1^{er} capteur atteint

ANNEXE 8

Tableau 1 Critères temps réel : cas des aciers non alliés et faiblement alliés de limite d'élasticité inférieure ou égale à 460 MPa en l'absence d'activité EA liée à des sources externes)

	Critères temps réel					
	Alarme				Arrêt	
① Bruit de fond (évolution)	+5 dB				+10 dB	
② Activité, évolution/ zone*	$\Delta N/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression (4)				$\Delta N/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression	
③ Intensité, évolution/ zone*	$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression (4)				$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression	
	Configuration de Localisation				Configuration de Localisation	
	Zonale			Planaire		
	1 ^{ère} séquence (2)	N ^{ième} séquence (3)	1 ^{ère} séquence (2)	N ^{ième} séquence (3)	Zonale	Planaire
④ N _{1s} / zone*	≥200	≥160	≥100	≥80	≥1000	≥500
⑤ N _{2s} / zone*	≥20	≥16	≥10	≥8	≥100	≥50
⑥ N _{3s} / zone*	≥15	≥12	≥10	≥10	≥100	≥40
⑦ Activité N _{ce} / cluster (1)			≥20	≥16		≥50

* l'émission acoustique enregistrée par zone prend en compte les salves détectées par le 1^{er} capteur atteint

(1) ce critère n'est utilisé que dans le cas de la localisation planaire

(2) cycle sans aucun dépassement de critère(s) d'alarme ou sans descente

(3) cycle avec N séquences suite à N dépassements de critères d'alarme valeurs limites pour la séquence concernée. Nombre maximal d'alarmes : 6

Note : L'activité des sources d'origine parasite n'est pas à prendre en compte dans les critères en temps réel, dans la mesure où elles sont identifiées et qu'elles ne masquent pas une émission acoustique significative

(4) Les critères ② et ③ s'appliquent si le critère ④ est dépassé ($N > N_{1s}$)

Le critère ① lié au bruit de fond doit être considéré indépendamment de l'émission discrète.

6.5.2.1. Critères d'alarme en temps réel

La décision de faire un palier et de diminuer la sollicitation suivant le cycle de la figure 4, sera prise si :

- Le critère bruit de fond 1 est dépassé

Ou

- Tous les critères de l'activité d'une zone (critères ② et ③), sont vérifiés ou les seuils des critères ④, ⑤ et ⑥ sont dépassés.

Ou

- Les critères ② et ③ sont vérifiés et le seuil du critère ⑦ est dépassé

Notes :

1) la cause de l'alarme est recherchée avant toute décision de reprendre ou non la montée en pression conformément au cycle.

2) Si après dépassement des critères d'alarme, l'alarme est à nouveau déclenchée lorsque la pression de l'essai atteint la valeur maximale précédemment atteinte (valeur au palier réalisé suite à la précédente alarme), l'essai est arrêté.

6.5.2.2. Critères d'arrêt en temps réel

Une décision d'arrêt de l'essai doit être prise, dans le cas d'une aggravation de la sévérité de l'EA en cours de cycle de sollicitation :

- le critère d'évolution du bruit de fond ① est dépassé
- Ou
- les taux d'activité et d'intensité (critères ② et ③) d'une zone sont croissants
- Ou
- les seuils des trois critères ④, ⑤ et ⑥ sont dépassés
- Ou
- les seuils de deux des critères ④ ou ⑤ ou ⑥ sont dépassés et un des critères ② ou ③ est vérifié
- Ou
- les critères ② et ③ sont vérifiés et le seuil du critère ⑦ est dépassé

Note : Méthode d'analyse des critères

① *Quand le critère est qualitatif : il est vérifié ou non-vérifié*

② *Quand le critère est quantitatif : le seuil du critère est dépassé ou non-dépassé*

7. ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES DONNEES

Les données sont ensuite traitées et analysées pour réaliser le diagnostic final de l'examen.

Le prestataire doit posséder une méthode d'analyse adaptée et formalisée au cas de l'examen du réacteur (procédures écrites, base de données, seuils, critères en fonction des matériaux et des conditions d'essais, ...) et l'expérience suffisante, lui permettant notamment de définir et de justifier les filtrages éventuels et le traitement des données.

L'analyse et l'interprétation des résultats doivent tenir compte des sources externes à l'enveloppe contrôlée, dues en particulier au bruit susceptible de se produire en raison:

- de la présence d'équipements au voisinage immédiat du réacteur (machines tournantes, ...)
- de la circulation des fluides de procédé dans l'équipement
- de la présence d'organes internes dans l'équipement dont certains peuvent être en mouvement et/ou en vibrations.

Les critères sont appliqués aux salves détectées par le premier capteur atteint (zones) pour le classement en catégories 1, 2 ou 3, ils sont complétés par une analyse des clusters.

Pour les aciers inclus dans le domaine d'application de cette annexe, et après filtrage de la totalité des salves dues à des sources externes, ils sont :

- Seuil d'évaluation : 50 dB_{EA}
- Seuil de référence : 65 dB_{EA}
- Critère en palier : Nombre d'événements après 2 min de palier et pendant 8 min de palier, d'amplitude supérieure ou égale au seuil d'évaluation (ce critère ne s'applique pas aux paliers à pression réduite). C'est-à-dire de la 2^{ème} min non incluse jusqu'à la 10^{ème} min incluse pour les paliers de 10 min. Pour le palier final la durée d'évaluation va de la 2^{ème} min non incluse à la 30^{ème} min incluse. L'évaluation est faite à chaque palier.

Pour l'effet Kaiser, le rapport de charge est calculé pour un N_f de 5 et un P_f de 5 %.

Cette analyse zonale est complétée par une analyse des clusters répondant aux exigences du § 6.2.3.2, les critères de déclenchement de ces clusters sont :

- taille : 10 % de la distance entre capteurs de la maille
- seuil en activité : 10 dont l'amplitude est supérieure au seuil d'évaluation (50 dB_{EA}) au 1^{er} capteur atteint

La contribution de ces clusters à l'activité de la zone dans laquelle ils sont localisés est évaluée, pour chaque critère 4, 5 et 6 des tableaux 2 et 3, en donnant, par exemple, le rapport des événements de chaque cluster par rapport au nombre total d'événements de la zone.

Le suivi des évolutions, en fonction de l'augmentation de pression, en activité et intensité de ces clusters permet leur classement en fonction des tendances correspondant aux critères ⑨ et ⑩ des tableaux 2 et 3.

Tableau 2 Critères : cas des aciers non alliés de limite d'élasticité inférieure ou égale à 460 MPa après filtrage de l'éventuelle activité EA liée à des sources externes.) pour une sollicitation à $P_{max}=110\%$ PMA

Critère	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3
② Activité, évolution/ zone*	$\Delta N/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression (1)	$\Delta N/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
③ Intensité, évolution/ zone*	$\Delta I/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression (1)	$\Delta I/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
④ N_{1s} / zone*	< 60	≥ 60 et < 600	≥ 600
⑤ N_{2s} / zone*	< 5	≥ 5 et < 50	≥ 50
⑥ N_{3s} / zone*	< 10	≥ 10 et < 40	≥ 40
⑧ Rapport des charges / zone (*) (**)	≥ 1	< 1	< 1
⑨ Activité, évolution/ cluster	$\Delta N/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
⑩ Intensité, évolution/ cluster	$\Delta I/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression

(*) L'émission acoustique enregistrée par zone prend en compte les salves détectées par le 1^{er} capteur atteint

(**) Applicable seulement pour les cycles de pression avec descentes

(1) Pour la catégorie 1, les critères ② et ③ ne sont applicables que si le critère ④ est dépassé

Définition des catégories des zones

► **Catégorie 1** : Aucune émission

Ou

les taux d'activité et d'intensité (critères ② et ③) de la zone sont décroissants avec l'augmentation de pression

Et

au moins le seuil d'un des trois critères ④, ⑤ et ⑥ n'est pas dépassé.

ANNEXE 8

► **Catégorie 3** : les taux d'activité et d'intensité (critères ② et ③) de la zone sont croissants avec l'augmentation de pression

Et

les seuils des trois critères ④, ⑤ et ⑥ sont dépassés.

Ou

Les deux critères ⑨ et ⑩ sont vérifiés

► **Catégorie 2** : tous les autres cas ne remplissant pas les critères des catégories 1 et 3.

Note critère ⑧ : dans le cas d'un rapport de charge inférieur à 1, le non-respect de l'effet Kaiser doit faire l'objet d'une interprétation

Tableau 3 Critères : cas des aciers faiblement alliés de limite d'élasticité inférieure ou égale à 460 MPa après filtrage de l'éventuelle activité EA liée à des sources externes) pour une sollicitation à Pmax=110% PMA

Définition critère	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3
② Activité, évolution/ zone*	$\Delta N/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression (1)	$\Delta N/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
③ Intensité, évolution/ zone*	$\Delta I/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression (1)	$\Delta I/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
④ N_{1s} / zone^*	< 50	≥ 50 et < 550	≥ 550
⑤ N_{2s} / zone^*	< 5	≥ 5 et < 40	≥ 40
⑥ N_{3s} / zone^*	< 10	≥ 10 et < 30	≥ 30
⑦ Rapport des charges / zone (*) (**)	≥ 1	$\geq 0,95$ et < 1	< 0,95
⑨ Activité, évolution/ cluster	$\Delta N/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
⑩ Intensité, évolution/ cluster	$\Delta I/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression

(*) L'émission acoustique enregistrée par zone prend en compte les salves détectées par le 1^{er} capteur atteint

(**) Applicable seulement pour les cycles de pression avec descentes

(1) Pour la catégorie 1, les critères ② et ③ ne sont applicables que si le critère ④ est dépassé

Définition des catégories des zones :

► **Catégorie 1 :**

Aucune émission

Ou

les taux d'activité et d'intensité (critères ② et ③) de la zone sont décroissants avec l'augmentation de pression

Et

au moins le seuil d'un des trois critères ④, ⑤ et ⑥ n'est pas dépassé.

► **Catégorie 3 :**

les taux d'activité et d'intensité (critères ② et ③) de la zone sont croissants avec l'augmentation de pression

Et

les seuils des trois critères ④, ⑤ et ⑥ sont dépassés.

Ou

Les deux critères ⑨ et ⑩ sont vérifiés

► **Catégorie 2 :** tous les autres cas ne remplissant pas les critères des catégories 1 et 3.

Note critère ⑧ : Dans le cas d'un rapport de charge inférieur à 1, le non-respect de l'effet Kaiser doit faire l'objet d'une interprétation

8. RAPPORT FINAL – SPÉCIFICITÉS

Le rapport doit inclure en compléments des éléments généraux requis (voir § 9 du corps du guide) :

- les conclusions des vérifications de la faisabilité de l'essai par l'exploitant (voir §3) et le prestataire (voir §5) ainsi que la description de la préparation de l'ESP par le donneur d'ordre (voir §3)
- la justification de la pression maximale de l'examen si celle-ci est inférieure à 110% PMA.
- La justification des zones couvertes non vérifiées (voir § 6.3.2 et 6.3.3)

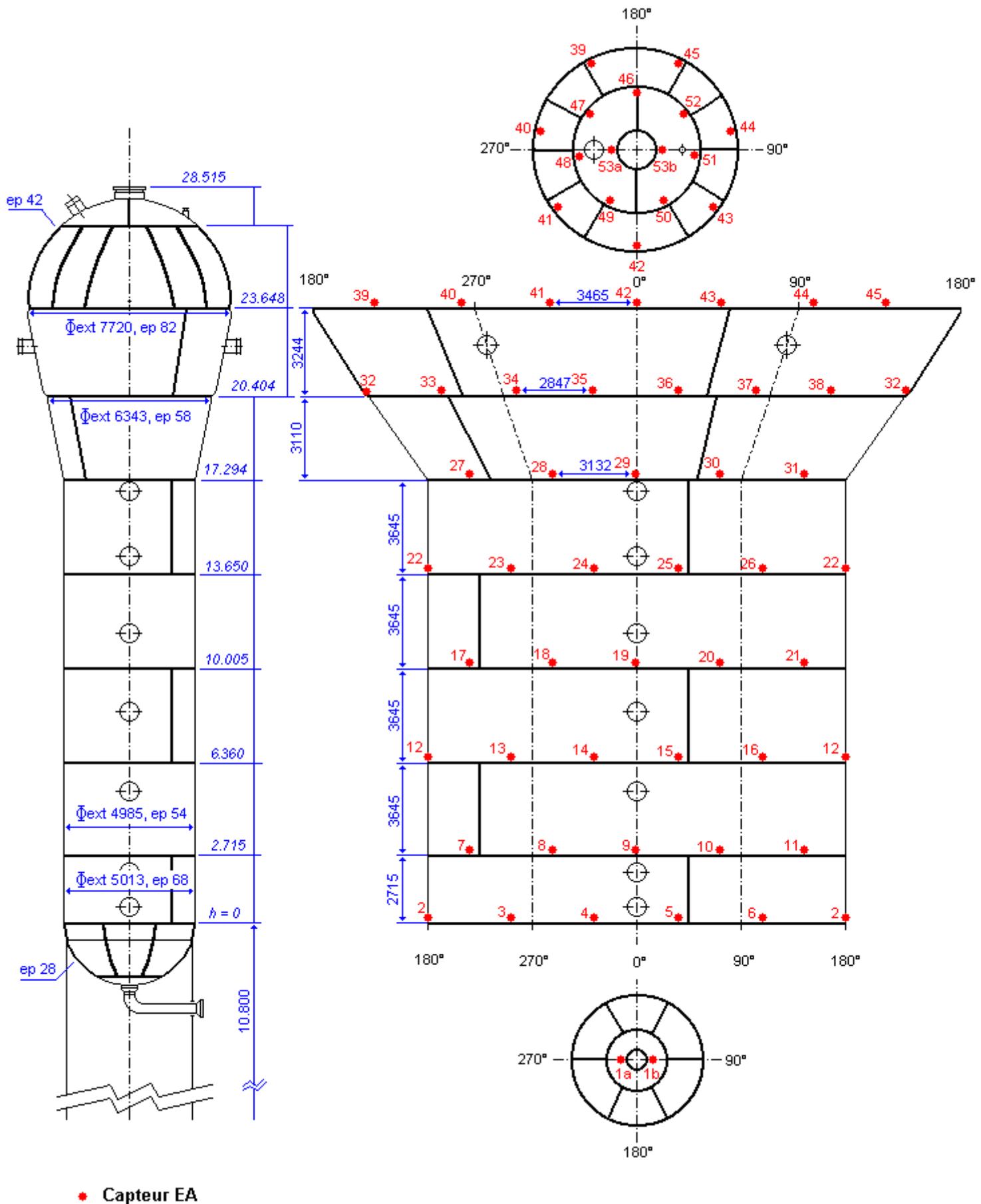


Figure 2b : Schéma développé d'un réacteur à bulbe et exemple d'implantation de capteurs

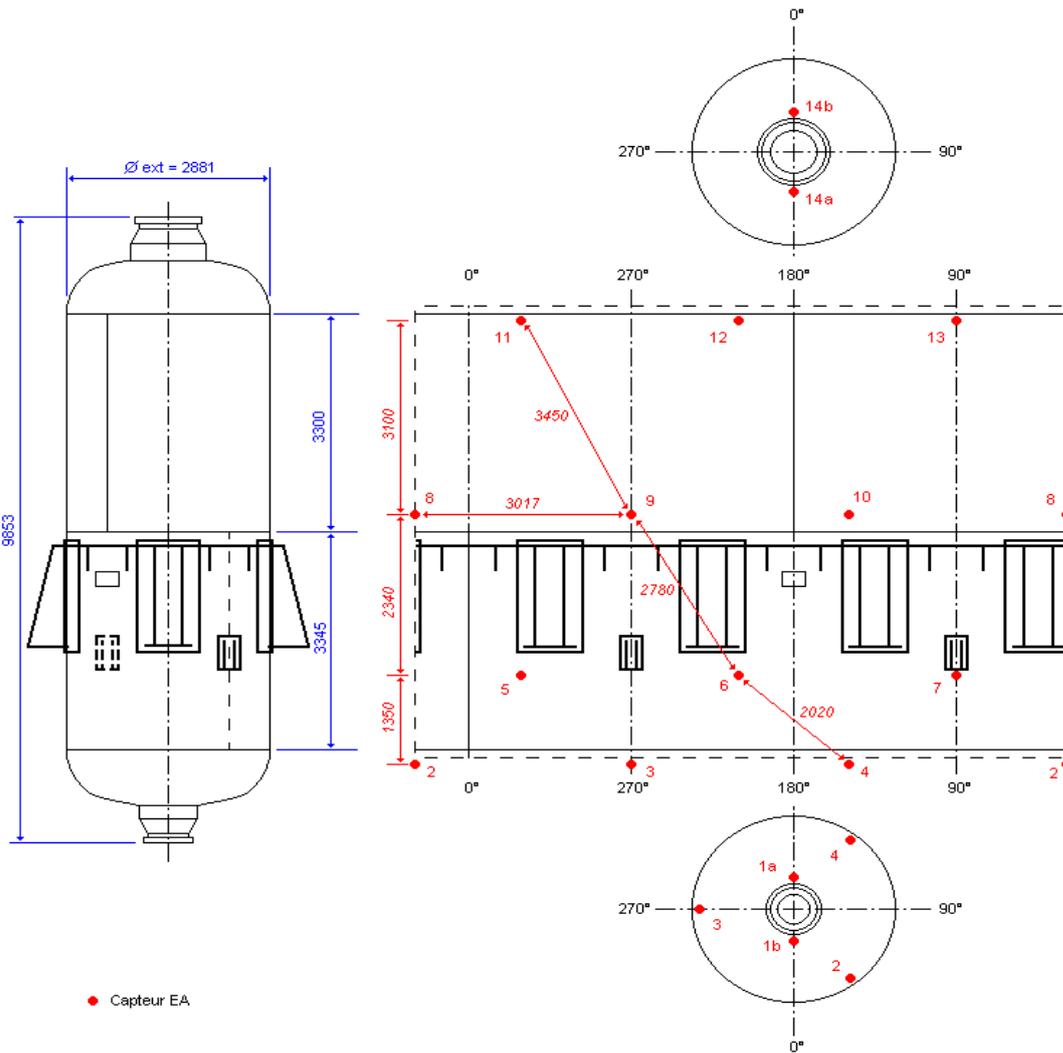


Figure 2c : Schéma développé d'un réacteur et exemple d'implantation de capteurs

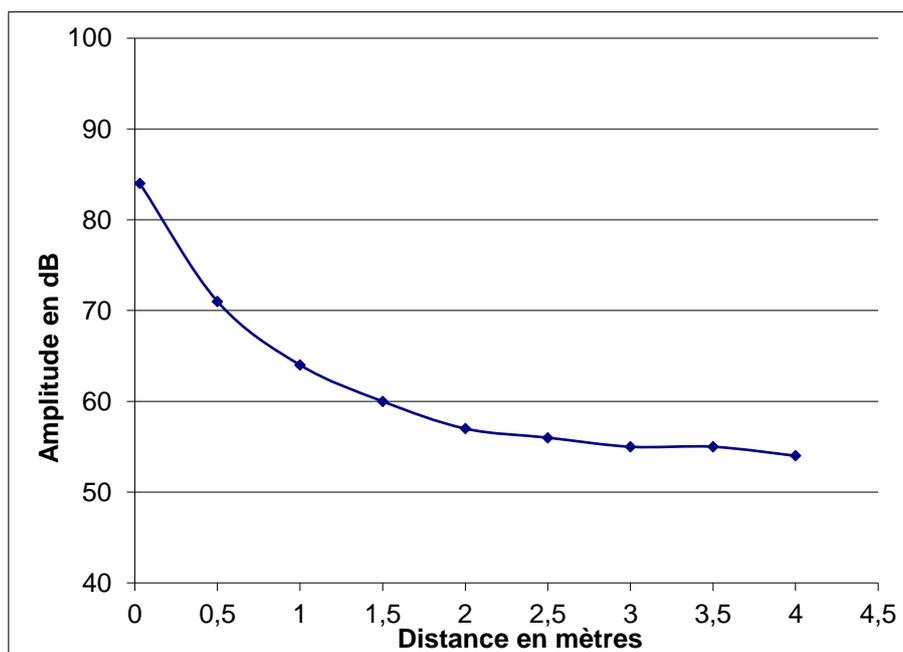
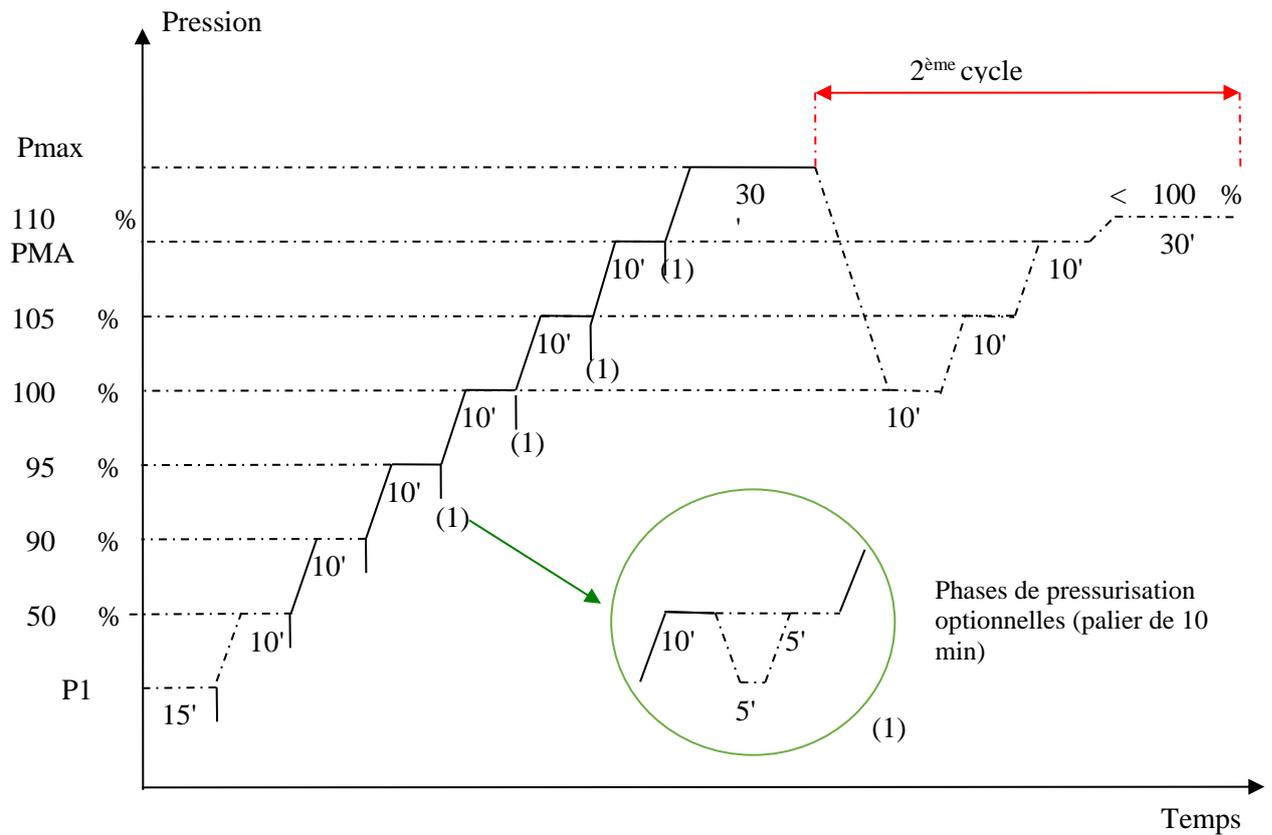


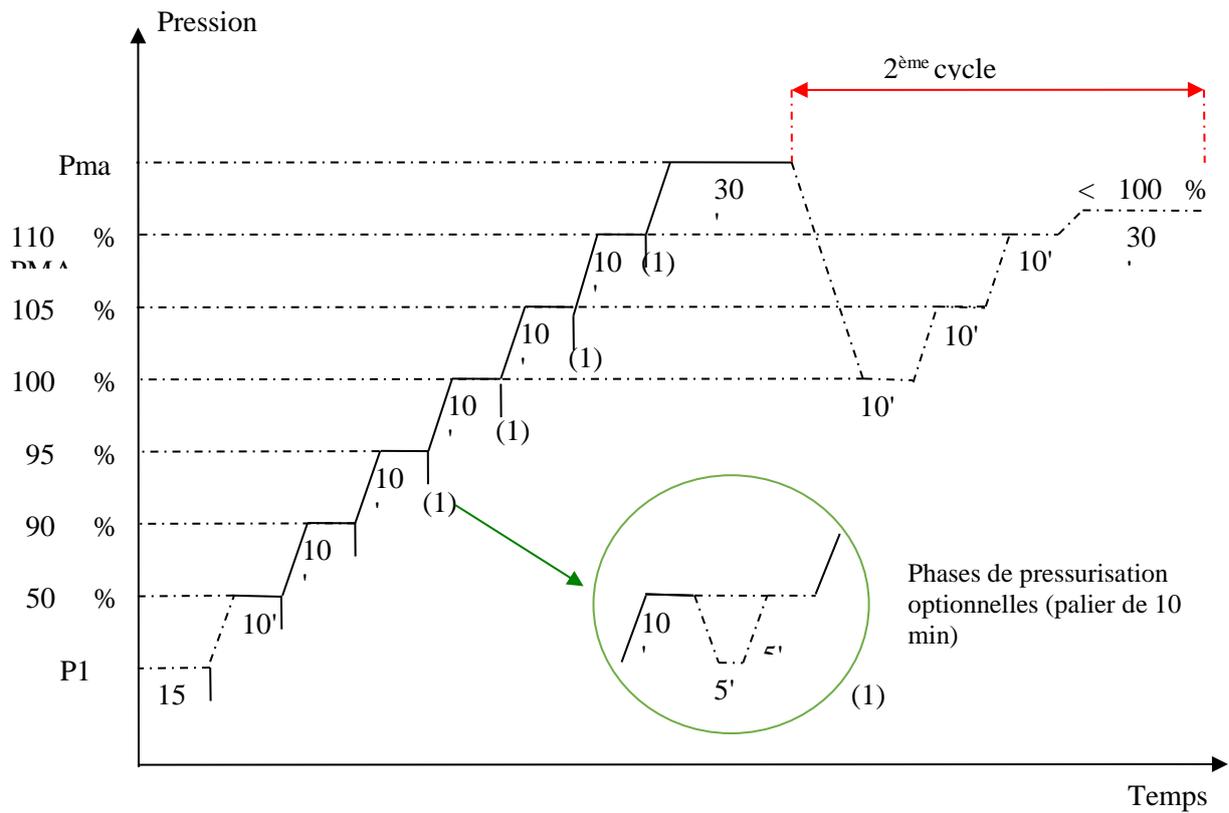
Figure 3 : Exemple de courbe d'atténuation



- Séquence minimum à pratiquer entre 95 % PMA et Pmax, sans vérification de l'effet Kaiser pour un essai en service
- - - Séquence(s) à retenir en fonction de l'activité EA (voir § 6.4.2 & 6.5.2) ou pour vérification de l'effet Kaiser ou à la demande d'une des parties
- Pmax Pression maximale d'essai > 105 % de PMA (voir § 6.4.2)
- PMA Pression maximale appliquée en service (période de référence)
- P1 Pression de début d'essai (inférieure ou égale à 95 % PMA)

Note : selon la pression de début d'essai, d'autres paliers peuvent être ajoutés, avant 95 % PMA

Figure 4a : Exemple de Cycle de sollicitation en service



- Séquence minimum à pratiquer entre 50% PMA et Pmax, sans vérification de l'effet Kaiser pour un essai à l'arrêt
- - - Séquence(s) à retenir en fonction de l'activité EA (voir § 6.4.2 & 6.5.2) ou pour vérification de l'effet Kaiser ou à la demande d'une des parties
- Pmax Pression maximale d'essai > 105 % de PMA (voir § 6.4.2)
- PMA Pression maximale appliquée en service (période de référence)
- P1 Pression de début d'essai (inférieure ou égale à 50% PMA pour un essai réalisé à l'arrêt)

Note : selon la pression de début d'essai, d'autres paliers peuvent être ajoutés, avant 50 % PMA

Figure 4b : Exemple de Cycle de sollicitation à l'arrêt

ANNEXE 9 - MÉTHODOLOGIE À APPLIQUER POUR L'ÉLABORATION D'UNE PROCÉDURE APPLICABLE AUX AUTOCLAVES

1. OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

La présente annexe s'applique aux ESP (équipements sous pression) du type autoclave, hyperclave ou four constitués d'un corps et de 2 fonds à couvercle amovible à fermeture rapide (CAFR) ou vissés ou boulonnés ou soudés, dont l'un est généralement fixé au corps, et présentant les caractéristiques suivantes :

Matériau : acier non allié ou faiblement allié de limite d'élasticité inférieure ou égale à 460 MPa

Organes internes et externes: systèmes de chauffage / refroidissement et circulation de gaz, capteurs de mesure, instrumentation de contrôle et de régulation, équipements annexes.

Isolation : calorifugés, ignifugés, ou non

Fluide de service : gaz (air, azote, vapeur d'eau, ...) ou liquide,

Pression et température maximales de service définies par le constructeur :

- PS de 0,5 à 5000 bars
- Température maximale admissible d'utilisation du fluide en service TMUS de l'ambiante à 1000 °C.

Volume : de 0,1 à 2000 m³

La présente annexe s'applique à la mise en œuvre du contrôle par émission acoustique d'un autoclave lors d'un cycle de sollicitation adapté, notamment dans le cadre d'une requalification périodique. Le cas de l'épreuve initiale n'est pas traité dans cette annexe ; il est généralement couvert par le code de construction.

L'essai a pour objectifs de :

- réaliser le suivi du comportement de l'équipement lors de la sollicitation appliquée, en détectant la présence d'éventuelles indications évolutives et critiques susceptibles de mener à la rupture prématurée de l'équipement au cours de l'essai,
- donner à l'issue de l'essai un diagnostic sur l'état de santé de l'équipement dans les conditions d'exploitation en terme d'endommagements évolutifs antérieurement présents ou apparus lors de l'essai, permettant de fixer les conditions maximales d'exploitation (pression et température), d'entreprendre si nécessaire des contrôles non destructifs complémentaires sur les zones actives localisées.
- de se substituer lors de la requalification périodique de l'équipement à l'épreuve hydraulique.

Les conditions de l'essai doivent être compatibles avec les procédures et les contraintes de sécurité applicables à l'exploitation de l'équipement.

2. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

Les documents utilisés pour la rédaction de la présente annexe sont ceux de l'annexe 1 du GBP.

3. DESCRIPTION DE L'INSTRUMENTATION

3.1 Chaîne d'acquisition

La chaîne d'acquisition utilisée (capteur – préamplificateur - système d'acquisition) doit répondre aux exigences relatives à l'instrumentation conformément aux normes européennes et traduites dans le système qualité du prestataire. Elle doit permettre d'assurer les fonctions suivantes :

- acquisition de l'ensemble des salves d'émission acoustique simultanément sur toutes les voies, et en temps réel. Les principaux paramètres extraits de chaque salve étant : le temps d'arrivée de la salve et les paramètres de forme : amplitude, énergie, nombre d'alternances, durée, temps de montée,... avec une vitesse d'acquisition suffisante pour éviter la saturation et la perte de données,
- enregistrement de la valeur ASL et/ou RMS du bruit sur l'ensemble des voies,
- analyse en temps réel des données avec une visualisation d'indicateurs de l'activité et de l'intensité des sources d'EA afin de permettre le contrôle de l'ESP pendant l'essai,
- mise en œuvre d'un nombre de processus d'analyse indépendants (algorithmes de localisation,...) et adaptés au cas de l'autoclave contrôlé,
- analyse en localisation zonale et planaire,
- autocalibration (vérification de la sensibilité des voies),
- stockage des données brutes sur le disque dur du système, simultanément à l'analyse en temps réel.

3.2 Capteurs

Les capteurs sont du type résonant dans la bande de fréquence 100 – 500 kHz avec une sensibilité minimale, à la fréquence de résonance, de 60 dB réf. volt/mètre/seconde (source transitoire) ou de – 65 dB ref. 1volt/microbar. Ils sont stables en sensibilité, sans parasitage, dans le domaine de température de l'essai.

Suivant les températures de paroi TSmin et TSmax et les caractéristiques des capteurs, des guides d'onde fixés à la paroi de l'équipement peuvent être nécessaires.

Une réception (point zéro) et un suivi dans le temps des caractéristiques des capteurs, doivent être réalisés suivant la norme EN 13477 par le prestataire.

3.3 Préamplificateurs

Ils peuvent être intégrés aux capteurs ou déportés. Le gain des préamplificateurs est compris entre 30 et 40 dB. Ils doivent assurer une dynamique allant du seuil d'acquisition à 100 dB_{EA}

3.4 Filtres

Le filtrage global (préamplificateur + système) doit présenter une pente minimale de 24 dB/octave en dehors de la bande 50 à 1000 kHz (typiquement 100 à 300 kHz).

4. MODE OPÉRATOIRE

4.1 Réglages de l'instrumentation

La valeur du seuil d'acquisition est d'au moins 6 dB au-dessus de la valeur ASL ou RMS du bruit de fond. Dans tous les cas cette valeur doit être inférieure ou égale au seuil d'évaluation (voir § 5.2.2 pour variante 9A ou § 6.3.2 pour variante 9B).

Le temps de réarmement du système (défini comme le temps minimal de séparation de deux salves consécutives) doit être minimum, et adapté aux conditions de propagation tout en assurant une détectabilité optimale.

Le mode opératoire écrit de réglage de l'instrumentation, basé sur l'expérience de ce type d'examen, permet de définir sur site les conditions d'acquisition, de conditionnement et de traitement des signaux conformément aux normes européennes EN 13554, EN 13477- 1 et- 2 et EN14584.

4.2 Détermination de l'implantation des capteurs

4.2.1 Généralités

Le nombre de capteurs doit permettre un examen global de l'ensemble de l'ESP, avec une analyse en localisation zonale et planaire. Un exemple d'implantation de capteurs est donné en figure 5.

Dans le cas où la paroi de l'appareil n'est pas accessible, le prestataire après concertation avec le donneur d'ordre, proposera la ou les solutions possibles avec leurs éventuelles limites pour assurer l'examen global de la structure (capteurs à demeure, réalisation de puits d'accès ou mise en place de guides d'ondes pour rendre la paroi accessible localement) en conformité avec la présente annexe.

Dans le cas où les capteurs installés à demeure ne sont plus accessibles pour les examens futurs (ESP avec calorifuge, ...), le prestataire proposera une méthode de vérification de la sensibilité des voies, reproductible dans le temps, en accord avec la vérification initiale réalisée suivant la source Hsu-Nielsen selon les exigences du § 4.3.1. Cette méthode doit être référencée dans le rapport d'examen.

4.2.2 Distance entre capteurs

Le rayon d'écoute intrinsèque du capteur pour la source Hsu-Nielsen est déterminé par l'intersection entre la courbe d'atténuation et le seuil d'acquisition. Cette courbe est déterminée en effectuant des mesures en au moins 6 points, répartis sur le rayon d'écoute, avec 3 ruptures minimum par point. Il sera tenu compte du cas d'application, notamment pour l'influence du revêtement éventuel, de la température de peau et de l'environnement sur l'atténuation (voir exemple en *figure 1* ci-dessous).

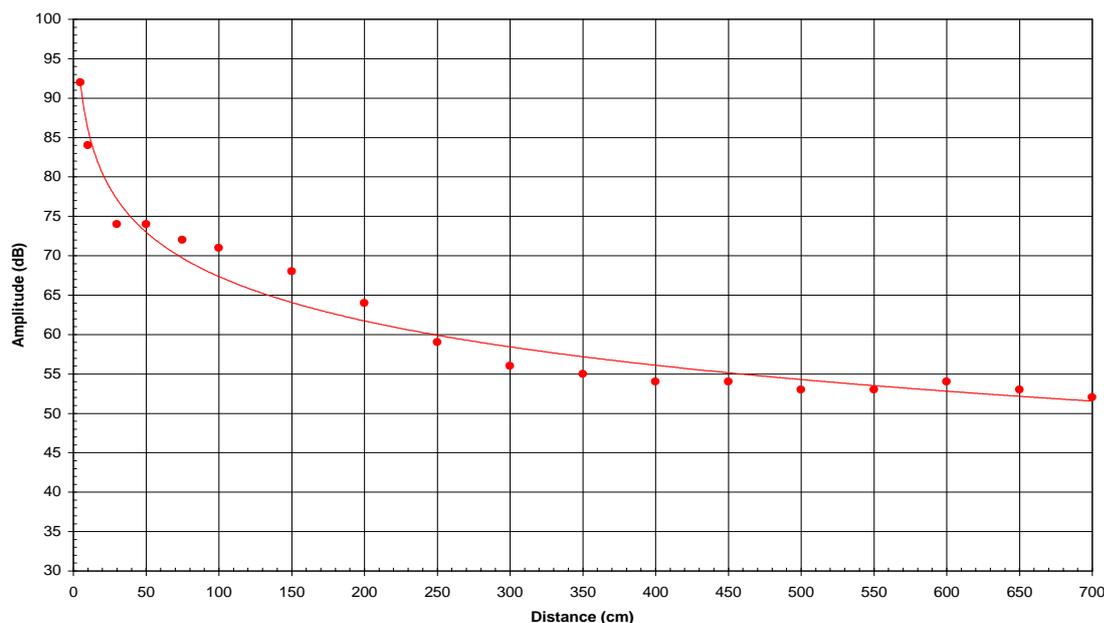


Figure. 1 : exemple de courbe d'atténuation sur un autoclave

4.2.3. Nombre de capteurs

4.2.3.1 Validation de la localisation zonale

- le nombre et la position des capteurs doivent permettre de détecter toute rupture Hsu-Nielsen sur la structure par au moins un capteur avec une amplitude mesurée à ce capteur supérieure à la valeur du seuil d'évaluation spécifiée au § 5.2.2 pour variante 9A ou § 6.3.2 pour variante 9B,

- la distance maximale entre capteurs ne doit pas être supérieure à 1,5 fois le rayon d'écoute du capteur au seuil d'évaluation.

4.2.3.2 Validation de la localisation planaire

Des évènements détectés par au moins trois capteurs d'une maille peuvent être localisés.

La localisation planaire sera considérée comme globale, si :

- le nombre et la position des capteurs permettent de localiser toute rupture Hsu-Nielsen sur la structure (détection par le nombre de capteurs nécessaire pour appliquer l'algorithme de calcul),

- la distance maximale entre les capteurs d'une maille est telle que : à partir d'une source Hsu-Nielsen, générée à une distance minimale de 5 cm d'un capteur à l'intérieur de la maille, l'amplitude du signal détecté au niveau de tous les capteurs d'une même maille, est supérieure ou égale au seuil d'acquisition plus 6 dB. Dans le cas contraire, les limites de la zone localisable seront précisées par le prestataire.

4.3 Vérifications initiales

Les vérifications se font dans les conditions initiales du contrôle avant toute sollicitation (pression / température).

4.3.1 Vérification de la sensibilité des voies

La vérification de la sensibilité des voies est réalisée avec une source Hsu-Nielsen, à une distance de 5 cm de chaque capteur, l'amplitude minimale détectée par la moyenne de 3 ruptures de mine minimum, doit être de 80 dB_{EA}, sans saturation de la chaîne.

Dans le cas d'utilisation de guides d'ondes, la perte de sensibilité doit être mesurée et reportée, le prestataire doit indiquer les conséquences éventuelles sur la détectabilité, sur la couverture de l'équipement et sur les critères appliqués.

Dans le cas où les capteurs ne sont pas accessibles, la méthode de vérification initiale (voir §4.2.1) sera appliquée dans les conditions de l'essai pour garantir la reproductibilité dans le temps de la réponse des capteurs.

Cette vérification peut être complétée par une méthode permettant une vérification rapide de l'ensemble des capteurs (autocalibration, générateur d'impulsions, ...). La signature de référence sera comparée à celle obtenue en fin d'essai.

4.3.2 Vérification de la détectabilité

La détectabilité doit être vérifiée dans les zones de discontinuité (piquages, pieds, soudures,...). Lorsque nécessaire, d'autres capteurs doivent être ajoutés.

Dans le cas où des zones de discontinuités ne sont pas accessibles, celles-ci sont délimitées et consignées dans le rapport en vue d'actions alternatives.

4.3.3 Vérification de la localisation planaire des discontinuités

La localisation doit être vérifiée dans les zones de discontinuité (piquages, pieds, soudures,...). Lorsque nécessaire, d'autres capteurs doivent être ajoutés.

La localisation doit être vérifiée par simulation (source Hsu-Nielsen, générateur d'impulsions,...), sauf dans les zones où la paroi n'est pas accessible. Dans ce dernier cas, le prestataire doit indiquer dans le rapport qu'il n'a pu vérifier la précision de la localisation et doit donner la dimension de la zone concernée pour toute investigation éventuelle ultérieure.

La garantie de localisation est limitée aux zones simulées.

4.3.4 Vérification du bruit de fond et identification des sources parasites

Le prestataire et le donneur d'ordre chercheront à éliminer ou réduire les sources parasites externes ou internes.

La valeur maximale du bruit de fond est mesurée juste avant l'essai sur une période minimale de 15 minutes. Cette valeur doit être inférieure au seuil d'acquisition moins 6 dB.

Pour l'activité permanente initiale hors sollicitation contrôlée, le nombre maximum de salves détectées sur chaque voie doit être, pour la durée d'écoute de 15 minutes :

- inférieur à 90 au seuil d'évaluation (50 dB_{EA})
- inférieur à 450 à un seuil d'acquisition de 40 dB_{EA} (valeur à ajuster en fonction de la valeur du seuil d'acquisition). Le nombre de voies concernées ne peut dépasser 20 % du nombre total des voies d'acquisition.

De plus la durée cumulée de ces salves détectées doit être inférieure à 1 % de la durée d'écoute, soit 9 secondes au seuil d'acquisition.

Les sources parasites ne pouvant être éliminées (circulation de fluide, internes,...) doivent être caractérisées pour être prises en compte lors de l'analyse et l'interprétation des données. Le prestataire disposera d'une méthodologie de filtrage et de traitement des données référencée dans son mode opératoire écrit.

5. VARIANTE 9A

Cette variante s'applique à la mise en œuvre du contrôle par émission acoustique d'un autoclave en exploitation lors d'un cycle pression pneumatique adapté à la température ambiante pour les autoclaves dont le domaine de température de fonctionnement est :

$TMUS \leq 250^{\circ}C$ ou $TMA_{FL} \leq 250^{\circ}C$

Ou

$TMUS > 250^{\circ}C$ et $TMA_{FL} > 250^{\circ}C$ mais pas de points chauds $> 200^{\circ}C$ détectés par un contrôle par thermographie infrarouge ou toute autre méthode équivalente, réalisé à la TMA_{FL} .

Note :

TMUS : température maximale admissible d'utilisation du fluide en service

TMA_{FL} : température maximale du fluide appliquée pendant la période de référence

5.1 Conditions de réalisation du cycle de sollicitation

5.1.1 Exigences vis-à-vis de l'exploitant

L'exploitant doit assurer le cycle de sollicitation défini pour le contrôle EA, conformément à la procédure d'essai, en prenant les précautions de sécurité qui s'imposent. En cas de déclenchement d'alarme en temps réel (voir § 5.2.3), il doit être en mesure d'arrêter la montée et de réduire la pression rapidement.

Le cycle de sollicitation étant basé sur l'historique d'exploitation, l'exploitant doit attester des valeurs maximales de pression (PMA) et température (TMA_{FL}) atteintes par l'autoclave dans la période de référence des 12 mois qui précèdent immédiatement l'essai.

L'exploitant doit également certifier l'absence de points chauds supérieurs à $200^{\circ}C$.

L'exploitant doit – sauf dispositions contraires arrêtées avec le prestataire – fournir les informations de pression et température de l'autoclave sous forme de signaux enregistrables sur la chaîne de contrôle EA, ou permettre leur mesurage et leur enregistrement par les moyens du prestataire.

L'installation de pressurisation doit :

- permettre d'assurer la pression maximale de l'essai ($P_{max} \geq PMA$),
- générer un bruit parasite minimal (les éléments susceptibles d'émettre des bruits parasites seront immobilisés ou neutralisés dans la mesure du possible).

5.1.2 Cycle de sollicitation

Des essais préliminaires sont à réaliser en dessous de 50% PMA pour permettre d'identifier les bruits d'injection de gaz, ...

La sollicitation doit être pilotée en mode manuel par un opérateur qualifié de l'exploitant.

La pression maximale de l'essai P_{max} est au moins de 110% PMA. Dans le cas d'une requalification périodique, il conviendra de vérifier la compatibilité avec la pression maximale applicable PS ($P_{max} \leq PS$).

Le cycle de pression commence à une pression fixe inférieure ou égale à 50% PMA.

Tous les paliers intermédiaires devront avoir une durée minimale de 10 min. Le(s) palier(s) à la pression maximale d'essai devra (ont) être maintenu(s) pendant une durée minimale de 30 min.

La pression doit être maintenue lors des paliers, pour l'application des critères associés. La variation de pression acceptable au cours d'un palier doit être inférieure à 3 % de la valeur de la pression du début de palier pour les paliers de 10 min et de 5% pour le palier final de 30 min.

Des descentes et/ou paliers intermédiaires (cycles de pressurisation optionnels) doivent être ajoutés dans le cas du dépassement de critère(s) d'alarme ou pour identifier les signaux dus à des sources extérieures.

Les vitesses de montée et de descente en pression doivent être comprises entre 0,1 et 1 % /minute de la pression maximale de l'essai Pmax.

Toutes les conditions opératoires seront enregistrées, y compris la température pour certifier que l'essai a été réalisé à la température ambiante. Les enregistrements et la conduite de l'essai devront être conçus et présentés de façon à permettre la comparaison des résultats et la reproductibilité d'un essai à l'autre (cycle,...).

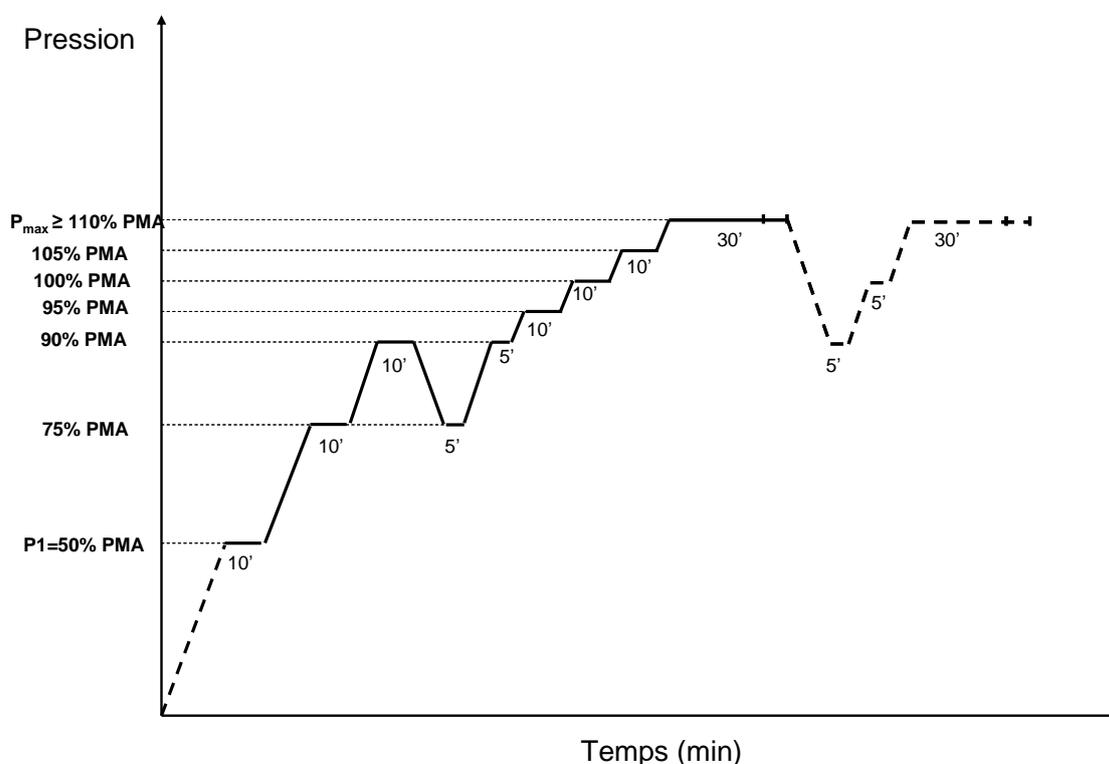


Figure 2 : Exemple de cycle de sollicitation à température ambiante pour un essai de requalification en service

- Cycle minimum
- - - Option(s) à retenir en fonction de l'activité EA (voir § 5.2.3) ou à la demande des prestataires
- Pmax Pression maximale d'essai $\geq 110\%$ de PMA
- PMA Pression Maximale Appliquée en service (période de référence)
- P1 Pression de début d'essai (inférieure ou égale à 50 % PMA)

5.2 Suivi de l'essai

5.2.1 Modalités de suivi de l'essai

Le suivi de l'essai démarre dès le début du cycle, se poursuit tout au long de ce cycle (le suivi des phases de descente étant laissé à l'initiative du responsable d'essai) et se termine au plus tôt à la fin du dernier palier à la pression maximale d'essai.

L'émission acoustique doit être enregistrée pendant toute la durée de l'essai. L'observation de l'évolution de l'activité et de l'intensité EA, ainsi que de la localisation sera effectuée en temps réel.

Le prestataire doit posséder une méthode d'acquisition des données et d'analyse temps réel, adaptée et formalisée au cas de l'ESP (procédure écrite, base de données, seuils, critères...), et l'expérience suffisante lui permettant d'analyser les données.

Toute observation ou anomalie relevée en cours d'essai sera enregistrée.

5.2.2 Conditions de validation de l'essai

Les différents paramètres utilisés pour la validation de l'essai sont :

- Le seuil d'évaluation : il doit être de 50 dB_{EA}
- Le seuil d'acquisition : il doit être inférieur ou égal au seuil d'évaluation.
- Le bruit de fond dont le niveau continu doit être inférieur au seuil d'acquisition moins 6dB (la valeur maximale étant 44 dB_{EA}.)

Voir note du corps du guide § 8.2.2.

Note : Il est recommandé d'utiliser un seuil d'acquisition le plus bas possible pour ne pas pénaliser la localisation des sources dont l'amplitude est proche du seuil d'évaluation.

5.2.3 Critères d'analyse en temps réel

Le tableau 1 ci-après définit les critères retenus. Les situations d'alarme ou d'arrêt résultent des combinaisons de ces critères de base explicitées ensuite.

Tableau 1

	Critères temps réel					
	Alarme				Arrêt	
① Bruit de fond (évolution)	+5 dB				+10 dB	
② Activité, évolution/ zone*	ΔN/ΔP constant avec l'augmentation de pression (4)				ΔN/ΔP croissant avec l'augmentation de pression	
③ Intensité, évolution/ zone*	ΔI/ΔP croissant avec l'augmentation de pression (4)				ΔI/ΔP croissant avec l'augmentation de pression	
	Configuration de Localisation				Configuration de Localisation	
	Zonale		Planaire			
	1 ^{ère} séquence (2)	N ^{ième} séquence(3)	1 ^{ère} séquence (2)	N ^{ième} séquence(3)	Zonale	Planaire
④ N _{1s} / zone*	≥200	≥160	≥100	≥80	≥1000	≥500
⑤ N _{2s} / zone*	≥20	≥16	≥10	≥8	≥100	≥50
⑥ N _{3s} / zone*	≥15	≥12	≥10	≥10	≥100	≥40
⑦ Activité N _{ce} / cluster (1)			≥20	≥16		≥50

(*) L'émission acoustique enregistrée par zone prend en compte les salves détectées par le 1^{er} capteur atteint

(1) Ce critère n'est utilisé que dans le cas de la localisation planaire

(2) cycle sans aucun dépassement de critères d'alarme ou sans descente

(3) cycle avec N séquences suite à N dépassements de critères d'alarme

Valeurs limites pour la séquence concernée. Nombre maximal d'alarmes : 6

Note : L'activité des sources parasites n'est pas à prendre en compte dans les critères en temps réel, dans la mesure où elles sont identifiées et qu'elles ne masquent pas une émission acoustique significative.

(4) Les critères ② et ③ s'appliquent si le critère ④ est dépassé ($N > N_{1s}$)

Le critère ① lié au bruit de fond doit être considéré indépendamment de l'émission discrète.

5.2.3.1 Critères d'alarme en temps réel

La décision de faire un palier et de diminuer la sollicitation, sera prise si :

- Le critère bruit de fond ① est dépassé
- ou
- Deux des critères ④ ou ⑤ ou ⑥ et un des critères ② ou ③ sont dépassés/vérifiés
- ou
- Le critère ⑦ est dépassé

Note:

1) La cause de l'alarme est recherchée avant toute décision de reprendre ou non la montée en pression conformément au cycle.

2) Si après dépassement des critères d'alarme, l'alarme est à nouveau déclenchée lorsque la pression de l'essai atteint la valeur maximale précédemment atteinte (valeur au palier réalisé suite à la précédente alarme), l'essai est arrêté.

5.2.3.2 Critères d'arrêt en temps réel

Une décision d'arrêt de l'essai doit être prise, dans le cas d'une aggravation de la sévérité de l'EA en cours de cycle de sollicitation :

- Le critère d'évolution du bruit de fond ① est dépassé
- ou
- Deux des critères ④ ou ⑤ ou ⑥ et un des critères ② ou ③ sont dépassés/vérifiés
- ou
- Le critère ⑦ est dépassé

5.3 Analyse et interprétation des données

5.3.1 Définition des critères d'analyse pour le cycle de sollicitation en pression

Les critères définis dans le tableau 2 s'appliquent lors de l'essai de mise sous pression à température ambiante décrit sur la figure 2.

Les critères ② à ⑥ et ⑧ sont appliqués aux salves détectées par le premier capteur atteint (zone) et le critère ⑦ est appliqué aux clusters pour leur classement en catégorie 1, 2 ou 3.

- Seuil d'évaluation : 50 dB_{EA} (sans correction de l'amplitude avec la distance)
- Seuil de référence : 65 dB_{EA} (sans correction de l'amplitude avec la distance)

- Critères de déclenchement des clusters :
 - Taille : 10% de la distance entre capteurs

- Seuil en activité : 3 évènements
- Critères durant les paliers : Nombre d'évènements après 2 min de palier et pendant 8 mn de palier, d'amplitude supérieure ou égale au seuil d'évaluation (ce critère ne s'applique pas aux paliers à pression réduite) c'est-à-dire de la 2^{ème} min non incluse jusqu'à la 10^{ème} min incluse pour les paliers de 10 min. Pour le palier final la durée d'évaluation va de la 2^{ème} min non incluse à la 30^{ème} min incluse. L'évaluation est faite à chaque palier.

5.3.2 Classification

Tableau 2 : Critères d'analyse

Critères	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3
② Activité, évolution/zone*	$\Delta N/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression (1)	$\Delta N/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
③ Intensité, évolution/zone*	$\Delta I/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression (1)	$\Delta I/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
④ $N_{1s}/zone^*$	< 45	≥ 45 et < 180	≥ 180
⑤ $N_{2s}/zone^*$	< 5	≥ 5 et < 20	≥ 20
⑥ $N_{3s}/zone^*$	< 10	≥ 10 et < 35	≥ 35
⑧ Rapport des charges/zone*	≥ 1	< 1 et $\geq 0,95$	< 0,95
⑦ Activité N_c/cluster	< 10	≥ 10 et < 45	≥ 45

Note: Les critères sont établis pour une pression maximale d'essai à 110% PMA.

(1) Les critères ② et ③ ne s'appliquent que si N_{1s} est supérieur à la valeur limite de N_{1s} (45) de la catégorie 1 (activité significative).

Définition des catégories : Classement des zones et des clusters

► **Catégorie 1** : Tout ce qui n'est pas en catégorie 2 ou en catégorie 3

► **Catégorie 2 (référéncée par rapport aux valeurs de la catégorie 2 du tableau 2)** : deux des critères ④, ⑤ ou ⑥ et un des critères ② ou ③ ou ⑧ sont dépassés/vérifiés

ou

Le critère ⑦ est dépassé

► **Catégorie 3 (référéncée par rapport aux valeurs de la catégorie 3 du tableau 2)** : deux des critères ④, ⑤ ou ⑥ et un des critères ② ou ③ ou ⑧ sont dépassés/vérifiés

Ou

Le critère ⑦ est dépassé.

5.4 Rapport Final - Spécificités

Le rapport doit inclure en complément des éléments généraux requis (voir § 9 du corps du guide) :

- la justification de la pression maximale de l'examen
- le résultat des mesures de température par thermographie infrarouge ou autre méthode et l'absence des ponts chauds > 200°C
- la justification de la température de l'essai (ambiante)
- la justification des zones couvertes non vérifiées (voir §4.3.2 et 4.3.3).

6. VARIANTE 9B

Cette variante s'applique à la mise en œuvre du contrôle par émission acoustique d'un autoclave lors d'un cycle pression/température adapté.

6.1 Spécificités

Les documents complémentaires utilisés pour la rédaction de la présente variante B sont :

- Journal of Acoustic Emission Vol 8, N°3, 1989: The MONPAC[®] system
- DMT/P n° 30 954 et annexes (Dossier Technique),
- BSEI n°05-442 du 23 décembre 2005.

Les critères donnés pour l'analyse en temps réel (tableau 3) et en temps différé (figure 4) sont établis pour des capteurs 150 KHz, un gain de préamplificateur de 40 dB et un filtre passe bande de 100 – 300 KHz

Si, exceptionnellement un filtre paramétrique (filtre numérique sur les valeurs des caractéristiques des salves EA) doit être utilisé pour l'acquisition dans le but d'éliminer des sources parasites identifiées, il doit être indiqué dans le mode opératoire du prestataire. Son influence sur l'acquisition des données doit être démontrée. L'utilisation d'un tel filtre doit être mentionnée dans le rapport.

6.2 Conditions de réalisation du cycle de sollicitation (pression / température)

6.2.1 Exigences vis-à-vis de l'exploitant

L'exploitant doit assurer le cycle combiné de pression et température préconisé pour le contrôle EA, conformément à la procédure d'essai, en prenant les précautions de sécurité qui s'imposent. En cas de déclenchement d'alarme en temps réel (voir § 6.3.3), il doit être en mesure d'arrêter la montée et de réduire la pression rapidement.

Le cycle combiné étant basé sur l'historique d'exploitation, l'exploitant doit attester des valeurs maximales de pression (PMA) et température (TMA_{FL}) atteintes par l'autoclave dans la période de référence des 12 mois qui précèdent immédiatement l'essai.

L'exploitant doit – sauf dispositions contraires arrêtées avec le prestataire – fournir les informations de pression et température de l'autoclave sous forme de signaux enregistrables sur la chaîne de contrôle EA, ou permettre leur mesurage et leur enregistrement par les moyens du prestataire.

L'installation de pressurisation et de chauffe doit :

- permettre d'assurer la pression maximale de l'essai ($P_{max} > PMA$),
- permettre d'atteindre la température maximale de l'essai ($T_{max} \geq TMA$),
- générer un bruit parasite minimal et être connectée à l'autoclave, si besoin est, par l'intermédiaire d'un flexible pour la pression.

6.2.2 Cycle de sollicitation

Le cycle combiné théorique apparaît sur le graphe de la *figure 3*.

Des essais préliminaires sont à réaliser en dessous de 50% PMA et 50% TMA_{FL} pour permettre d'identifier les bruits d'injection de gaz, de ventilation, ...

Le cycle définitif en pression et température est établi sur site afin d'optimiser les conditions d'acquisition des données EA (seuil d'acquisition le plus bas possible).

La sollicitation doit être pilotée en mode manuel par un opérateur qualifié de l'exploitant.

La pression maximale de l'essai (P_{max}) est au moins de 110% PMA. Dans le cas d'une requalification périodique, il conviendra de vérifier la compatibilité avec la pression maximale applicable PS.

Le cycle de pression commence à une pression fixe inférieure ou égale à 50% PMA.

La température maximale (T_{max}) de l'essai doit être au moins égale à la TMA_{FL} ou égale à TMUS si l'autoclave doit être exploité dans les conditions maximales définies par le fabricant.

Tous les paliers intermédiaires en pression devront avoir une durée minimale de 10 min. Le palier à la pression maximale et à la température maximale d'essai devra être maintenu pendant une durée minimale de 30 min.

La pression doit être maintenue lors des paliers, pour l'application des critères associés. La variation de pression acceptable au cours d'un palier doit être inférieure à 5 % de la valeur de la pression du début de palier.

Des descentes et/ou paliers intermédiaires (séquences de pressurisation optionnelles) doivent être ajoutés dans le cas du dépassement de critère(s) d'alarme ou peuvent être ajoutés pour identifier les signaux provenant de sources extérieures. La durée minimale des paliers après une réduction de pression doit être d'une durée minimale de 5 min.

Les vitesses de montée et de descente en pression doivent être comprises entre 0,1 et 1 % par minute de la pression maximale de l'essai P_{max} .

Si nécessaire, la chauffe pourra être régulée lors des paliers de pression pour maintenir celle-ci constante. Toutes les conditions opératoires seront enregistrées, en particulier en ce qui concerne les phases de fonctionnement du ventilateur. Dans la mesure du possible, les enregistrements et la conduite de l'essai devront permettre la comparaison des résultats et la reproductibilité d'un essai à l'autre sur un même autoclave.

6.3.2 Conditions de validation de l'essai

Les valeurs des différents paramètres utilisés pour la validation de l'essai doivent être données par le prestataire dans sa procédure.

Ils sont :

Le seuil d'évaluation : il doit être de 50 dB_{EA},

Le seuil d'acquisition : il doit être inférieur ou égal au seuil d'évaluation,

Le bruit de fond dont le niveau continu doit être inférieur au seuil d'acquisition moins 6 dB (la valeur maximale étant 44 dB_{EA}).

Voir note du corps du guide § 8.2.2.

Note : Il est recommandé d'utiliser un seuil d'acquisition le plus bas possible pour ne pas pénaliser la localisation des sources dont l'amplitude est proche du seuil d'évaluation.

6.3.3 Critères d'analyse en temps réel

Le tableau 3 ci-dessous définit les critères retenus. Les situations d'alarme ou d'arrêt résultent des combinaisons de ces critères de base explicités ensuite.

Tableau 3 : Critères d'analyse en temps réel

	Critères temps réel	
	Alarme	Arrêt
1. Bruit de fond (évolution)	+5 dB	+10 dB
2. Activité, évolution/ zone	$\Delta N/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression et/ou température	$\Delta N/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression et/ou température
3. Intensité, évolution/ zone*	$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression et/ou température	$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression et/ou température
4. Classification en temps réel suivant la figure 3	Catégorie 2	Catégorie 3

L'émission acoustique enregistrée par zone prend en compte les salves détectées par le 1^{er} capteur atteint

Note : L'activité des sources parasites n'est pas à prendre en compte dans les critères en temps réel, dans la mesure où elles sont identifiées et qu'elles ne masquent pas une émission acoustique significative.

Note : Les critères sont établis pour des capteurs 150 KHz, un gain de préamplificateur de 40 dB et un filtre passe bande de 100 – 300 KHz.

6.3.4 Critères d'alarme en temps réel

La décision de faire un palier et de diminuer la sollicitation, sera prise si :

- Le critère ① est dépassé,
- ou
- les critères ② ③ et ④ sont vérifiés simultanément,

La reprise de l'essai est conditionnée par une diminution du bruit de fond ou une stabilisation de l'activité et de l'intensité.

6.3.5 Critères d'arrêt en temps réel

Une décision d'arrêt de l'essai doit être prise, dans le cas d'une aggravation de la sévérité de l'EA en cours de cycle de sollicitation selon la règle ci-dessous :

- le critère ① est dépassé,
- ou
- les critères ② ③ et ④ sont vérifiés simultanément.

Des investigations doivent alors être entreprises jusqu'à identification complète des causes de dépassement des critères, éventuellement par des méthodes CND (voir § 9.2.4 du corps du guide).

6.4 Vérification en fin d'essai des performances de la chaîne d'acquisition

En fin d'essai, une vérification sera effectuée et comparée à celle de référence réalisée préalablement à l'essai, afin d'évaluer l'apparition d'une éventuelle dérive de la sensibilité durant l'essai. En cas de constat de dérive, le responsable niveau 3 prendra en compte cette information lors de l'interprétation des résultats.

6.5 Analyse et interprétation des données

6.5.1 Définition des critères représentatifs

Les données sont ensuite traitées et analysées pour réaliser le diagnostic de l'examen suivant une méthode adaptée au cas de l'examen des autoclaves avec une base de données permettant notamment de définir et de justifier les filtrages éventuels et le traitement des données).

L'algorithme MONPAC® (voir §6.1) traite les données à partir de deux index : l'index historique et l'index de sévérité dont les définitions sont données ci-dessous :

INDEX HISTORIQUE :

Une mesure à un instant « t » de l'intensité des salves d'EA relativement à l'émissivité globale de la structure jusqu'à l'instant « t ».

Note: l'analyse de l'évolution de l'index historique en fonction de la sollicitation appliquée lors de l'essai traduit le comportement des défauts évolutifs indépendamment des conditions de l'essai.

$$H(t) = \frac{N}{N - K} \frac{\sum_{t=K+1}^N S_{oi}}{\sum_{i=1}^N S_{oi}}$$

- N= nombre de salves EA
- Soi= « Energie » de la salve i (intégrale de la tension du signal redressé sur la durée de la salve)
- J= 10
- K= 0,8J si J<N<1000
- K= N-200 si N> 1000
- N<J: Non applicable

INDEX DE SÉVÉRITÉ :

Une caractérisation des salves d’EA les plus intenses de chaque zone relativement à l’intensité globale de la structure

Note: un index de sévérité élevé caractérise la présence de signaux de hautes énergies dans la signature acoustique de la zone concernée (fissure par exemple). Ce paramètre est indépendant des conditions de l’essai.

$$S_{av} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{i=10} S_{oi}$$

Ces deux index sont calculés pour l’activité de chaque zone et les valeurs sont reportées dans le diagramme d’intensité de la figure 4.

Un tableau d’évaluation est associé à ce diagramme, il résume l’ensemble des résultats suivant les critères N_{1s}, N_{2s} et N_{3s} pour chaque zone. (Tableau 4)

Le seuil de référence est fixé à 65 dB_{EA}

Tableau 4 : Exemple de format de tableau des données d’évaluation associées au diagramme de la figure 3

N° Zone	1er cycle						Catégorie GBP
	N _{1s}	N _{2s}	N _{3s}				
			Palier à (% PMA)				
1							
2							
3							
.							

Cette analyse est complétée par une analyse en localisation qui utilise des algorithmes de localisation planaire. Les concentrations (clusters) éventuelles sont analysées.

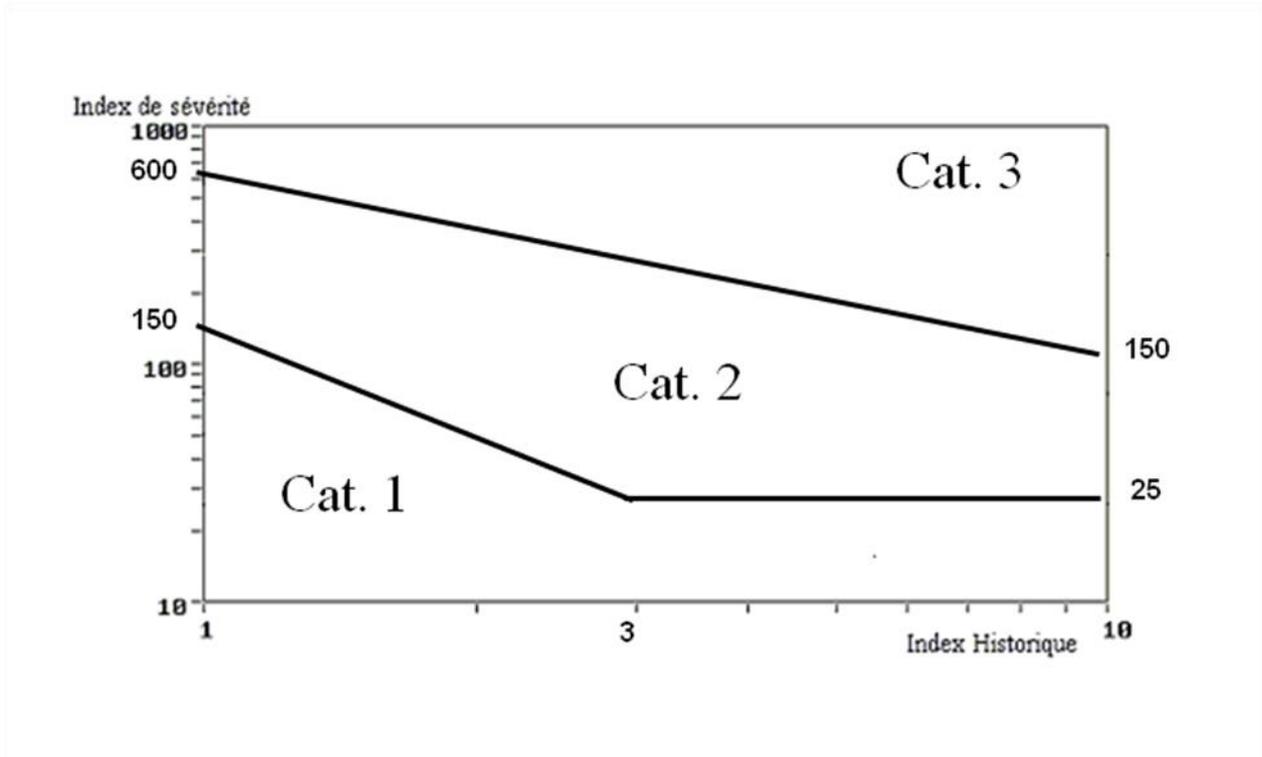
La contribution de ces clusters à l’activité de la zone dans laquelle ils sont localisés est évaluée, leurs courbes historiques en fonction de la pression et de la température sont analysées ...

Dans le cas d’un rapport de charge inférieur à 1, le non-respect de l’effet Kaiser doit faire l’objet d’une interprétation

CLASSIFICATION

La classification selon les 3 catégories du GBP se fait à l’aide du diagramme d’Intensité ci-dessous :

Note : les critères sont établis pour des capteurs 150 KHz, un gain de préamplificateur de 40 dB et un filtre passe bande de 100 – 300 KHz.



6.6 Rapport final – Spécificités

Le rapport doit inclure en compléments des éléments généraux requis (voir § 9 du corps du guide) :

- la justification de la pression maximale de l'examen
- la justification des valeurs de température
- la justification des zones couvertes non vérifiées (voir §4.3.2 et 4.3.3)

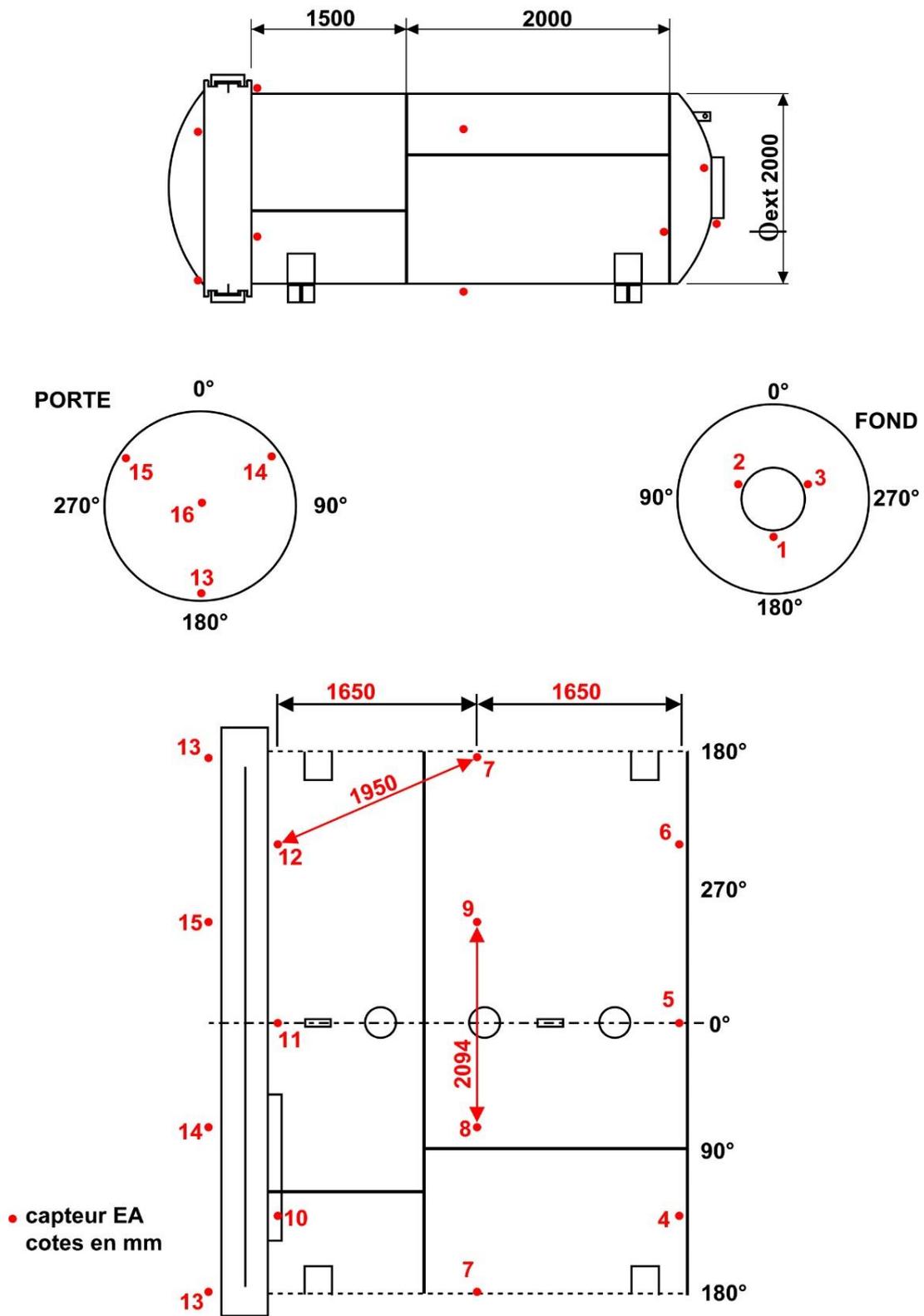


Figure 5 : Exemple d'implantations de capteurs d'un autoclave

ANNEXE 10 - MÉTHODOLOGIE À APPLIQUER POUR L'ÉLABORATION D'UNE PROCÉDURE APPLICABLE AUX ESP EN ACIER INOXYDABLE

1. OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

Cette annexe s'applique pour des essais sur des équipements à l'arrêt ou en service. Les types d'ESP concernés sont : sphères, ESP cylindriques, réacteurs et autoclaves, La méthodologie et le domaine d'application décrits dans les annexes 3, 6, 8 et 9 s'appliquent en fonction du type d'ESP avec les modifications décrites dans la présente annexe avec les particularités suivantes :

- Température minimale de paroi : - 196°C
- Nuances de matériau : acier inoxydable austénitique.

Cette annexe ne s'applique pas au cas des autoclaves en acier inoxydable traités suivant l'analyse de la variante 9B de l'annexe 9.

2. PARTICULARITÉS « ÉMISSION ACOUSTIQUE » DES ACIERS INOXYDABLES

Les aciers inoxydables ont un comportement similaire aux aciers faiblement alliés avec cependant une émissivité plus faible et une atténuation généralement plus élevée.

Un système de couplage et de fixation des capteurs adapté à ce type de matériaux doit être utilisé. Il doit garantir la qualité et la permanence du couplage pendant toute la durée de l'essai.

3. MODE OPÉRATOIRE

3.1 Les valeurs des critères du tableau 1 sont données pour un seuil d'acquisition de 40 dB_{EA}.

3.2 Si l'ESP en acier inoxydable a une atténuation plus élevée, la distance entre capteur est réduite et le nombre de capteurs augmenté par rapport à un ESP identique en acier non allié.

3.3 Suivi de l'essai et critères en temps réel :

En temps réel, les paramètres observés retenus sont ceux du § 8.2.3 du corps du guide. Ils permettent de définir les critères d'alarme et d'arrêt présentés dans le tableau 1.

Pour les aciers inclus dans le domaine d'application de cette annexe, ils sont :

- Seuil d'évaluation : 50 dB_{EA}.
- Seuil de référence : 60 dB_{EA}.
- Critères de déclenchement des clusters :
 - Taille : 10 % de la distance entre capteurs
 - Seuil en activité : 3 événements dont l'amplitude est supérieure au seuil d'évaluation (50 dB_{EA}) au 1er capteur atteint.

Tableau 1 : Critères temps réel : cas des aciers inoxydables en l'absence d'activité EA liée à des sources externes

	Critères temps réel					
	Alarme				Arrêt	
① Bruit de fond (évolution)	+5 dB				+10 dB	
② Activité, évolution/ zone*	ΔN/ΔP constant avec l'augmentation de pression (4)				ΔN/ΔP croissant avec l'augmentation de pression	
③ Intensité, évolution/ zone*	ΔI/ΔP croissant avec l'augmentation de pression (4)				ΔI/ΔP croissant avec l'augmentation de pression	
	Configuration de Localisation				Configuration de Localisation	
	Zonale		Planaire		Zonale	Planaire
	1 ^{ère} séquence (2)	N ^{ième} séquence (3)	1 ^{ère} séquence (2)	N ^{ième} Séquence (3)		
④ N _{1s} / zone*	≥140	≥112	≥ 70	≥ 56	≥ 700	≥ 400
⑤ N _{2s} / zone*	≥14	≥11	≥ 7	≥ 5	≥70	≥ 40
⑥ N _{3s} / zone*	≥15	≥12	≥ 10	≥ 8	≥50	≥30
⑦ Activité Nce/ cluster (1)	NA	NA	≥ 10	≥ 8	NA	≥35

(*) L'émission acoustique enregistrée par zone prend en compte les salves détectées par le 1er capteur atteint

(1) Ce critère n'est utilisé que dans le cas de la localisation planaire

(2) Cycle sans aucun dépassement de critères d'alarme ou sans descente

(3) Cycle avec N séquences suite à N dépassements de critères d'alarme valeurs limites pour la séquence concernée Nombre maximal d'alarmes : 6

(4) Les critères ② et ③ s'appliquent si le critère ④ est dépassé (N>N_{1s})

Le critère ① lié au bruit de fond doit être considéré indépendamment de l'émission discrète.

Note : L'activité des sources d'origine parasite n'est pas à prendre en compte dans les critères en temps réel, dans la mesure où elles sont identifiées et qu'elles ne masquent pas une émission acoustique significative.

4. ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES DONNÉES

Les données sont ensuite traitées et analysées pour réaliser le diagnostic final de l'examen.

Le prestataire doit posséder une méthode d'analyse adaptée et formalisée au cas de l'examen des ESP en acier inoxydable (procédures écrites, base de données, seuils, critères en fonction des matériaux et des conditions d'essais...) et l'expérience suffisante, lui permettant notamment de définir et de justifier les filtrages éventuels et le traitement des données.

Pour les aciers inoxydables inclus dans le domaine d'application de cette annexe, et après filtrage de la totalité des salves dues à des sources externes, Les critères sont :

- Seuil d'évaluation : 50 dB EA
- Seuil de référence : 60 dB EA
- Critère en palier :

Nombre d'événements après 2 min de palier et pendant 8 min de palier, d'amplitude supérieure ou égale au seuil d'évaluation (ce critère ne s'applique pas aux paliers à pression réduite).

- Pour l'effet Kaiser, le rapport de charge est calculé pour un N_F de 5 et un P_F de 5%.
- Les critères de déclenchement de ces clusters sont:
 - taille : 10% de la distance entre capteurs de la maille
- seuil en activité : 3 dont l'amplitude est supérieure au seuil d'évaluation (50 dB_{EA}) au 1^{er} capteur atteint

Pour l'interprétation des données et le classement des zones et sources EA, les tableaux 2a et 2b sont appliqués en fonction des annexes et de la configuration d'acquisition.

Tableau 2a : Critères : cas des aciers inoxydables après filtrage de l'éventuelle activité EA liée à des sources externes.) pour une sollicitation à $P_{max}=110\%$ PMA, pour l'annexe 8 et les approches « localisation zonale » des annexes 3 et 6

Définition critère	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3
② Activité, évolution/ zone*	$\Delta N/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression (1)	$\Delta N/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
③ Intensité, évolution/ zone*	$\Delta I/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression (1)	$\Delta I/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
④ N1s / zone*	<40	≥ 40 et < 450	≥ 450
⑤ N2s / zone*	< 5	≥ 5 et < 30	≥ 30
⑥ N3s / zone*	< 10	≥ 10 et < 20	≥ 20
⑧ Rapport des charges / zone (*) (**)	≥ 1	< 1 et $\geq 0,95$	< 0,95
⑨ Activité, évolution/ cluster	$\Delta N/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ croissant Avec l'augmentation de pression
⑩ Intensité, évolution/ cluster	$\Delta I/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ croissant Avec l'augmentation de pression

(*) L'émission acoustique enregistrée par zone prend en compte les salves détectées par le 1^{er} capteur atteint

(**) Applicable seulement pour les cycles de pression avec descentes

(1) Pour la catégorie 1, les critères ② et ③ ne sont applicables que si le critère ④ est dépassé

Tableau 2b : Critères : cas des aciers inoxydables après filtrage de l'éventuelle activité EA liée à des sources externes.) pour une sollicitation à $P_{max}=110\%$ PMA pour l'annexe 9a et les approches « localisation planaire » des annexes 3 et 6

Critères	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3
② Activité, évolution/ zone*	$\Delta N/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression (1)	$\Delta N/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
③ Intensité, évolution/ zone*	$\Delta I/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression (1)	$\Delta I/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
④ $N_{1s}/zone^*$	< 45	≥ 45 et < 180	≥ 180
⑤ $N_{2s}/zone^*$	< 5	≥ 5 et < 20	≥ 20
⑥ $N_{3s}/zone^*$	< 10	≥ 10 et < 35	≥ 35
⑧ Rapport des charges / zone (*) (**)	≥ 1	< 1 et $\geq 0,95$	< 0,95
⑦ Activité $N_{cc}/cluster$	< 10	≥ 10 et < 45	≥ 45

(*) L'émission acoustique enregistrée par zone prend en compte les salves détectées par le 1^{er} capteur atteint

(**) Applicable seulement pour les cycles de pression avec descentes

(1) Pour la catégorie 1, les critères ② et ③ ne sont applicables que si le critère ④ est dépassé

ANNEXE 11- MÉTHODOLOGIE A APPLIQUER POUR L'ÉLABORATION D'UNE PROCÉDURE APPLICABLE A DES ÉCHANGEURS

1. OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

Définition d'un échangeur visé par la présente annexe : récipient avec deux enceintes, constitué d'un circuit intratubulaire (boîte(s) et faisceau(x)) et d'un circuit extratubulaire (calandre) conçu pour assurer un échange thermique entre les deux circuits.

Cette annexe s'applique aux échangeurs caractérisés comme suit :

- limités aux types définis en figures 1
- matériaux : aciers, de limite d'élasticité inférieure ou égale à 460 MPa, non ou faiblement alliés au chrome molybdène, de structure ferritique (*),
- revêtus (revêtement interne et/ou externe) ou non,
- isolés (calorifuge ou ignifuge) ou non,
- température de paroi comprise entre $TS_{min} = 0^{\circ}C$ et $TS_{max} = 550^{\circ}C$,
- contenu : fluides liquides et/ou gazeux.

Cette annexe est applicable aux échangeurs à l'arrêt, dans les limites de la faisabilité décrites au §3.

Dans le cadre de leur requalification périodique pour le remplacement de l'épreuve hydraulique associée, par un essai sous pression pneumatique ou hydrostatique suivi par émission acoustique, cette annexe couvre uniquement la calandre, les plaques tubulaires et les boîtes.

L'état de la technique, à ce jour, ne permet pas de garantir le contrôle du faisceau dans sa totalité. Néanmoins des informations, fournies par le contrôle, peuvent être exploitées, au cas par cas, par le prestataire. Cette partie, non couverte par l'essai suivi par EA, reste dans le cadre général de la réglementation applicable aux ESP en service.

Le cas de l'essai de résistance de réception, réalisé en fin de fabrication, n'entre pas dans le champ d'application de la présente annexe.

Cette annexe précise les différents paramètres que le prestataire doit prendre en compte et doit porter dans la procédure spécifique de l'échangeur à contrôler, afin notamment de :

- définir le nombre et l'implantation des capteurs
- répondre aux exigences de sensibilité des voies, de détectabilité
- fixer les seuils d'évaluation, de référence, les critères d'analyse applicables
- définir le cycle de sollicitation...

(*)Aciers faiblement alliés dont la teneur en chrome est inférieure ou égale à 5%, considérés comme ayant un comportement similaire à ceux des aciers non alliés.

2. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

Les documents utilisés pour la rédaction de la présente annexe sont ceux de l'annexe 1 du GBP.

3. VÉRIFICATION DE LA FAISABILITÉ DE L'ESSAI ET PRÉPARATION DE L'ESP PAR L'EXPLOITANT

Afin de valider la pertinence de l'essai, l'exploitant vérifie que la sollicitation principale de l'échangeur à contrôler est la pression. Dans le cas contraire, le prestataire doit, pour établir la procédure de l'essai, tenir compte des autres modes de sollicitation (gradient de température...).

Dans le cas où l'essai est réalisé à une température inférieure à la température de service, l'exploitant s'assure que le taux de contraintes dans l'échangeur à la température de l'essai demeure au moins égal à 110% de celui qui est induit à la température de service.

Dans le cas contraire, une analyse des contraintes doit être réalisée et le cycle de pressurisation doit être adapté par le prestataire en liaison avec l'exploitant pour que le taux de contraintes dans l'échangeur demeure au moins égal à 110% de celui qui résulte des conditions de service.

De plus, l'exploitant vérifie que le matériau ne se trouve pas dans le domaine de la rupture fragile. L'exploitant vérifie au préalable que l'essai envisagé peut être mené dans le respect des dispositions applicables à l'équipement sous pression et à l'installation en cause.

Si l'autre circuit de l'échangeur doit être éprouvé hydrauliquement, l'essai suivi par EA est réalisé en premier afin d'éviter que la paroi commune ait déjà été mise en contrainte par l'épreuve hydraulique.

L'exploitant s'assure que tous les éléments susceptibles de constituer des sources parasites (par exemple : vannes à opercules, clapets anti-retour, éléments externes mobiles à l'ESP,...) sont déposés si les conditions d'essai le permettent.

4. DESCRIPTION DE L'INSTRUMENTATION ET RÉGLAGES

4.1 Système

Une chaîne d'acquisition (capteur - préamplificateur - système d'acquisition) est utilisée ; elle doit permettre d'assurer les fonctions suivantes :

- acquisition de l'ensemble des salves d'émission acoustique simultanément, en temps réel, sur toutes les voies. Les principaux paramètres extraits de chaque salve étant : le temps d'arrivée de la salve, et les paramètres de forme : amplitude, énergie, nombre d'alternances, durée, temps de montée... avec une vitesse d'acquisition suffisante pour éviter la saturation du système et la perte de données
- analyse en temps réel des données avec une visualisation d'indicateurs de l'importance des sources d'EA afin de permettre une interprétation en temps réel des données enregistrées pendant l'essai
- analyse en localisation zonale et/ou planaire (dans les limites à définir, voir § 6.2.3).
- enregistrement de la valeur ASL/RMS sur l'ensemble des voies
- enregistrement de l'évolution des paramètres de sollicitation (pression, température, voir § 6.4.).

- mise en œuvre d'un nombre de processus d'analyse indépendants (algorithmes de localisation...) et adaptés au cas de l'échangeur contrôlé, notamment pour les échangeurs à structure et géométrie complexes
- auto calibration (vérification de la sensibilité des voies)
- stockage des données brutes sur le disque dur du système, en parallèle de l'analyse en temps réel.

4.2 Capteurs

Les capteurs sont du type résonant dans la bande de fréquence 100 – 500 kHz avec une sensibilité minimale, à la fréquence de résonance, de 60 dB réf. volt/mètre/seconde (source transitoire) ou de - 65 dB réf. 1volt/micro bar. Ils sont stables en sensibilité, sans parasitage, dans le domaine de température de l'essai.

Des guides d'onde fixés à la paroi de l'équipement peuvent également être utilisés en fonction de la température.

Une réception (point zéro) et un suivi dans le temps des caractéristiques des capteurs, doivent être réalisés par le prestataire suivant la norme EN 13477.

4.3 Préamplificateurs

Ils peuvent être intégrés aux capteurs ou déportés. Le gain des préamplificateurs est compris entre 34 dB et 40 dB. Ils doivent assurer une dynamique allant du seuil d'acquisition à 100 dB_{EA}.

4.4 Filtres

Le filtrage global (préamplificateur et système) doit présenter une pente minimale de 24 dB/octave en dehors de la bande de 50 kHz à 1000 kHz.

5. VÉRIFICATION DE LA FAISABILITÉ DE L'EXAMEN EN EA PAR LE PRESTATAIRE

Suivant le type d'échangeur, le prestataire vérifiera, pour les enceintes concernées par le contrôle, l'accessibilité des éléments confinant la pression (plaques tubulaire, sur la tranche ou sur la face).

Dans certains cas, pour déterminer la détectabilité et la localisation suivant §6.3.2 et §6.3.3, le prestataire sera amené à demander l'accès à la face de la plaque tubulaire ou s'appuiera sur des résultats d'essais réalisés sur des échangeurs de nuances et assemblages identiques.

Dans le cas où la détectabilité n'est pas assurée sur la ou les plaque(s) tubulaire(s), ces dernières sont exclues du diagnostic.

Pour les échangeurs à plaques glissantes ou à tête glissante extérieure, il conviendra de traiter de continuité acoustique entre les différents éléments et dans le cas d'un élément glissant, la prise en compte du bruit parasite possible lors de la mise sous contrainte.

Une vérification préalable de l'activité EA de l'échangeur peut être nécessaire pour évaluer : les bruits de fond et l'activité EA permanente initiale dus aux sources externes à l'enveloppe

contrôlée (équipements au voisinage immédiat de l'échangeur : machines tournantes, vannes...),... . Les mesures préliminaires (bruit de fond, atténuation, vitesses de propagation...) doivent être réalisées dans les conditions de service les plus proches de celles envisagées pour le contrôle et indiquées dans le rapport. Une durée d'écoute supérieure à 15 min peut être nécessaire pour identifier ces bruits et caractériser l'activité permanente initiale.

6. MODE OPÉRATOIRE

6.1 Réglages de l'instrumentation

La valeur du seuil d'acquisition est d'au moins 6 dB au-dessus de la valeur ASL ou RMS du bruit de fond. Dans tous les cas cette valeur doit être inférieure ou égale au seuil d'évaluation (voir § 6.5.1). Elle conditionne la zone couverte par les capteurs.

Note : Il est recommandé d'utiliser un seuil d'acquisition le plus bas possible.

Les valeurs du critère Nce du tableau 1 sont établies pour un seuil d'acquisition de 40 dB_{EA}

Le temps de réarmement du système (défini comme le temps minimal de séparation de deux salves consécutives) doit être minimum et dans tous les cas inférieur à 1000 microsecondes. Il est adapté aux conditions de propagation tout en assurant une détectabilité optimale.

Le mode opératoire écrit de réglage de l'instrumentation, basé sur l'expérience de ce type d'examen, permet de définir sur site les conditions d'acquisition, de conditionnement et de traitement des signaux conformément aux normes européennes EN 13554, EN 13477-1 et -2, EN15495 et EN14584.

Si un filtre paramétrique (filtre numérique sur les valeurs des caractéristiques des salves EA) est utilisé pour l'acquisition, il doit être indiqué dans le mode opératoire du prestataire et dans le rapport. Son influence sur l'acquisition des données doit être évaluée.

Les salves enregistrées entre le seuil d'acquisition et le seuil d'évaluation doivent également être archivées pour tout traitement ultérieur.

6.2 Détermination de l'implantation des capteurs

6.2.1 Généralités

Le nombre de capteurs doit permettre un examen global de l'ensemble des parois résistant à la pression de l'échangeur.

Un exemple d'implantation de capteurs sur un schéma d'échangeur est donné en figures 1.

D'autres capteurs peuvent être ajoutés afin de couvrir des zones pour lesquelles une écoute particulière est nécessaire (réparations, proximités de supports, de piquages, d'accessoires, ...). Dans ce cas particulier, des critères spécifiques doivent être définis par le prestataire.

Une vérification de la continuité acoustique entre tous les éléments doit être réalisée à l'aide de sources HSU-NIELSEN. Si celle-ci n'est pas assurée, d'autres capteurs doivent être ajoutés.

Dans le cas où la paroi de l'appareil n'est pas accessible, le prestataire après concertation avec le donneur d'ordre, lui proposera la ou les solutions possibles avec leurs éventuelles limites pour assurer l'examen global de la structure (capteurs à demeure, réalisation de puits d'accès ou mise en place de guides d'ondes pour rendre la paroi contrôlable localement) en conformité avec la présente annexe.

Dans le cas de l'utilisation de capteurs installés à demeure et non accessibles par la suite, le prestataire doit définir les dispositions nécessaires pour garantir la surveillance globale de la structure dans le temps (par exemple : en cas de défaillance d'un ou de plusieurs capteurs).

Dans le cas où les capteurs ne seront plus accessibles pour les examens futurs (par exemple capteurs noyés à demeure dans un calorifuge, frigorifuge,...), le prestataire proposera une méthode de vérification de la sensibilité des voies, reproductible dans le temps, intégrée à la vérification initiale réalisée suivant la source Hsu-Nielsen selon les exigences du § 6.3.1. Cette méthode doit être référencée dans le rapport d'examen.

Dans le cas où les résultats d'examens effectués selon cette procédure à des périodes différentes doivent être comparés, des dispositions particulières doivent être prises pour tenir compte du changement de configuration que l'échangeur aura pu subir entre temps (ex : position verticale / horizontale..).

6.2.2 Distance entre capteurs

Le rayon d'écoute intrinsèque du capteur pour la source Hsu-Nielsen est déterminé par l'intersection entre la courbe d'atténuation et le seuil d'acquisition. Cette courbe est déterminée, sur chaque élément de la structure, en effectuant des mesures en au moins 6 points, répartis sur le rayon d'écoute, avec a minima 3 ruptures par point.

Il sera tenu compte de l'influence des caractéristiques particulières de l'application, notamment de l'accessibilité de la plaque tubulaire (tranche ou face), du revêtement et de l'environnement sur l'atténuation (voir exemple à la figure 2).

6.2.3. Nombre de capteurs

6.2.3.1 Validation de la localisation zonale

Le nombre minimal et la position des capteurs doivent permettre de détecter toute rupture Hsu-Nielsen sur chaque élément de la structure par au moins un capteur avec une amplitude mesurée à ce capteur supérieure à la valeur du seuil d'évaluation (valeur maximale du seuil d'acquisition) spécifié au § 5.5.1. La distance maximale entre capteurs ne doit pas être supérieure à 1,5 fois le rayon d'écoute du capteur au seuil d'évaluation afin de valider la localisation zonale.

6.2.3.2 Validation de la localisation planaire

La détection des événements par au moins trois capteurs d'une maille est la condition qui permet de localiser les sources d'émission acoustique (clusters) présentes dans la structure.

La localisation planaire est considérée comme globale, si :

- le nombre et la position des capteurs permettent de localiser toute rupture Hsu-Nielsen sur la structure (détection par le nombre de capteurs nécessaires pour appliquer l'algorithme de calcul),

- la distance maximale entre les capteurs d'une maille est telle qu' à partir d'une source Hsu-Nielsen, générée à une distance de 5 cm d'un capteur, l'amplitude du signal détecté au niveau de tous les capteurs d'une même maille, est supérieure ou égale au seuil d'acquisition plus 6 dB.

Dans le cas contraire, les limites des régions localisables sont précisées par le prestataire.

6.3 Vérifications préliminaires

6.3.1 Vérification de la sensibilité des voies

La vérification de la sensibilité des voies est réalisée, avant et après essai, avec une source Hsu-Nielsen, à une distance de 5 cm de chaque capteur, l'amplitude détectée par la moyenne de a minima 3 ruptures de mine, doit être supérieure ou égale à 80 dB_{EA}, sans saturation de la chaîne.

Note : en cas de saturation de l'instrumentation, la vérification se fait à une distance supérieure (indiquée dans le rapport), l'amplitude minimale détectée doit être dans tous les cas de 80 dB_{EA}.

Dans le cas d'utilisation de guides d'onde, la perte de sensibilité doit être mesurée et enregistrée, le prestataire doit indiquer les conséquences éventuelles sur la détectabilité, sur la couverture de l'équipement et sur les critères appliqués.

Dans le cas où les capteurs ne sont pas accessibles, la méthode de vérification initiale (voir §5.2.1) est appliquée dans les conditions de l'essai pour garantir la reproductibilité dans le temps de la réponse des capteurs.

Cette vérification est également réalisée en fin d'essai, conformément au §7.6.3 du corps du guide.

6.3.2 Vérification de la détectabilité

La détectabilité doit être vérifiée, pour chaque élément, dans les zones de discontinuité accessibles (piquages, pieds, soudures...). Lorsque nécessaire, d'autres capteurs doivent être ajoutés.

Dans le cas où les zones de discontinuités ne sont pas accessibles, cette vérification pratique est impossible, le prestataire justifie la couverture de ces zones ou émet des réserves (à indiquer dans le rapport).

6.3.3 Vérification de la localisation planaire des discontinuités

La localisation doit être vérifiée dans les zones de discontinuité (piquages, pieds, tuyauteries soudées, soudures...). Lorsque nécessaire, d'autres capteurs doivent être ajoutés

La précision de la localisation doit être vérifiée par simulation (source Hsu-Nielsen, générateur d'impulsions, ...), sauf dans les zones où la paroi n'est pas accessible. Dans ce dernier cas, le prestataire doit indiquer dans le rapport qu'il n'a pas pu vérifier la précision de la localisation et doit donner la dimension de la zone concernée pour toute investigation éventuelle ultérieure.

La garantie de localisation est limitée aux zones simulées.

Dans le cas où les discontinuités ne sont pas ou plus accessibles, cette vérification pratique est impossible. Elle se limite à la vérification initiale si les discontinuités étaient accessibles (à indiquer dans le rapport).

6.3.4. Vérification du bruit de fond et identification des sources parasites

La valeur maximale du bruit de fond est mesurée et enregistrée juste avant l'essai sur une durée minimale de 15 minutes. Cette valeur doit être inférieure au seuil d'acquisition moins 6 dB. La durée de l'écoute peut être prolongée si nécessaire pour caractériser les bruits induits par le process.

Pour l'activité permanente initiale hors sollicitation contrôlée, le nombre maximum de salves détectées sur chaque voie doit être, pour la durée d'écoute de 15 minutes :

- inférieur à 90 au seuil d'évaluation (50 dB_{EA})
- inférieur à 450 à un seuil d'acquisition de 40 dB_{EA} (valeur à ajuster en fonction de la valeur du seuil d'acquisition). Le nombre de voies concernées ne peut dépasser 20% du nombre total des voies d'acquisition.
- de plus la durée cumulée de ces salves détectées doit être inférieure à 1% de la durée d'écoute, soit 9 secondes au seuil d'acquisition.

Les sources parasites dues, à la présence d'organes et/ou revêtement internes,... doivent être identifiées afin d'être soit éliminées, soit caractérisées pour être prises en compte lors de l'analyse et l'interprétation des données. Le prestataire doit disposer d'une méthodologie de filtrage et de traitement des données référencée dans son mode opératoire écrit.

6.4 Moyens et cycle de pressurisation de l'essai sous pression pneumatique

6.4.1 Moyens et exigences à charge de l'exploitant pour la mise sous pression

La mise sous pression est réalisée et maîtrisée, par l'exploitant.

Il doit assurer le cycle de pressurisation nécessaire à la validation du contrôle EA, en prenant les mesures de sécurité adaptées ; il doit notamment être en mesure de réduire rapidement la pression en cas de déclenchement d'alarme en temps réel (voir § 5.5.2.1). De plus, il mettra à disposition des moyens adaptés de communication en temps réel entre le pilote de du cycle de pressurisation et le responsable du contrôle EA.

Le cycle de pressurisation étant basé sur l'historique des conditions d'exploitation, il doit certifier les valeurs maximales des sollicitations au cours de la période de référence.

L'exploitant doit fournir les moyens de mesures absolues de la sollicitation (pression, température..), notamment une ou des sortie(s) paramétrique(s) compatible(s) avec le système d'acquisition en vue de l'enregistrement ou permettre leur mesurage et leur enregistrement par les moyens du prestataire.

De plus, l'incertitude de la mesure de la pression doit être inférieure ou égale à 0,5%.

Dans la mesure du possible, l'exploitant essaiera de limiter le déplacement des éléments mobiles, qui pourraient perturber le contrôle.

6.4.2 Cycle de pressurisation

Afin de procéder à l'essai de l'équipement dans les conditions maximales d'utilisation, celui-ci est de manière générale, progressivement sollicité jusqu'à P_{max} qui sera au minimum de 110% PMA, l'enceinte non contrôlée étant maintenue pendant tout l'essai à la pression atmosphérique.

La montée en pression jusqu'à P_{max} est réalisée suivant un cycle minimum tel que décrit en figure 3. La durée minimale des paliers est de 10 minutes.

Si le fluide de service ne peut pas être utilisé pour la surpression, il peut être remplacé par un gaz neutre tel que l'azote par exemple.

Le cycle de pressurisation doit commencer à une pression inférieure ou égale à 50% PMA.

Le second cycle, pour vérification de l'effet Kaiser, est réalisé à une pression inférieure ou égale à 100 % de la pression maximale d'essai, est optionnel suivant des critères d'activité EA (voir § 6.5.2).

Des descentes et/ou paliers intermédiaires (phases de pressurisation optionnelles) doivent être ajoutés :

- dans le cas du dépassement de critère(s) d'alarme (voir § 6.5.2)
- à la demande d'une des parties
- pour identifier les signaux dus à des sources extérieures.

Dans ce cas, la pression est descendue à la pression du palier précédent, la durée des paliers à pression réduite est au minimum de 5 minutes.

Les vitesses de montée et de descente en pression ne doivent pas excéder par minute 1% (comprises entre 0,1% et 1%) ou 5% (comprises entre 0,5% et 5%) de la pression maximale de l'essai respectivement pour un essai pneumatique et un essai hydrostatique.

Note : la vitesse doit être compatible avec la recommandation du fabricant

La pression doit être maintenue lors des paliers, pour l'application des critères associés. La variation de pression maximale acceptable au cours d'un palier est de 3% de la pression du palier pour les paliers de 10 min et de 5% de la pression du palier final de 30 min.

6.5 Suivi de l'essai

Le prestataire doit posséder une méthode d'acquisition des données et d'analyse temps réel, adaptée et formalisée au cas de l'examen de l'échangeur (procédure écrite, base de données, seuils, critères...) et l'expérience suffisante, lui permettant notamment de définir et de justifier les filtres éventuels et le traitement des données.

6.5.1 Conditions de validation de l'essai

Les valeurs des différents paramètres utilisés pour la validation de l'essai doivent être données par le prestataire dans sa procédure.

Pour les aciers inclus dans le domaine d'application de cette annexe, ils sont:

- Seuil d'évaluation : 50 dB_{EA}
- Seuil d'acquisition : inférieur ou égal au seuil d'évaluation

- Bruit de fond (niveau continu, exprimé en dB_{EA}): inférieur au seuil d'acquisition moins 6 dB (la valeur maximale étant 44 dB_{EA} dans le cas de l'exemple cité).

Note : Il est recommandé d'utiliser un seuil d'acquisition le plus bas possible pour ne pas pénaliser la localisation des sources dont l'amplitude des événements est proche du seuil d'évaluation.

6.5.2 Critères d'analyse en temps réel

En temps réel, les paramètres observés retenus sont ceux du § 8.2.3 du GBP. Ils permettent de définir les critères d'alarme et d'arrêt présentés dans le tableau 1.

Pour les aciers inclus dans le domaine d'application de cette annexe, ils sont :

- Seuil d'évaluation : 50 dB_{EA}
- Seuil de référence : 65 dB_{EA}
- Critères de déclenchement des clusters :
 - Taille : 10 % de la distance entre capteurs
 - Seuil en activité : 5 événements

Tableau 1 Critères temps réel : cas des aciers non alliés et faiblement alliés de limite d'élasticité inférieure ou égale à 460 MPa (en l'absence d'activité EA liée à des sources externes)

Critères temps réel			
Définition critère	Alarme		Arrêt
① Bruit de fond (évolution)	+5 dB_{EA}		+10 dB_{EA}
② Activité, évolution/ zone*	$\Delta N/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression (4)		$\Delta N/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
③ Intensité, évolution/ zone*	$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression (4)		$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
	1 ^{ère} séquence (2)	N ^{ième} séquence (3)	
④ N1s / zone*	≥ 100	≥ 80	≥ 1000
⑤ N2s / zone*	≥ 10	≥ 8	≥ 100
⑥ N3s / zone*	≥ 10	≥ 10	≥ 100
⑦ Activité Nce / cluster (1)	≥ 10	≥ 8	≥ 50

(*) L'émission acoustique enregistrée par zone prend en compte les salves détectées par le 1^{er} capteur atteint
 (1) Ce critère n'est utilisé que dans le cas de la localisation planaire. Critère non applicable à la plaque tubulaire
 (2) Cycle sans aucun dépassement de critère(s) d'alarme ou sans descente
 (3) Cycle avec N séquences suite à N dépassements de critères d'alarme. Nombre maximal d'alarmes : 6.
 Note : L'activité des sources d'origine parasite n'est pas à prendre en compte dans les critères en temps réel, dans la mesure où elles sont identifiées et qu'elles ne masquent pas une émission acoustique significative
 (4) Les critères ② et ③ s'appliquent si le critère ④ est dépassé ($N > N1s$)
 Le critère ① lié au bruit de fond doit être considéré indépendamment de l'émission discrète.

6.5.2.1 Critères d'alarme en temps réel

La décision de faire un palier et de diminuer la sollicitation suivant la séquence de la figure 3, sera prise si :

- Le critère bruit de fond ① est dépassé
- Ou
- les critères ② et ③ sont vérifiés ou les seuils des critères ④, ⑤ et ⑥ sont dépassés.
- Ou
- Les critères ② et ③ sont vérifiés et le seuil du critère ⑦ est dépassé

Notes :

1) *la cause de l'alarme est recherchée avant toute décision de reprendre ou non la montée en pression conformément au cycle.*

2) *Si après dépassement des critères d'alarme, l'alarme est à nouveau déclenchée lorsque la pression de l'essai atteint la valeur maximale précédemment atteinte (valeur au palier réalisé suite à la précédente alarme), l'essai est arrêté.*

6.5.2.2 Critères d'arrêt en temps réel

Une décision d'arrêt de l'essai doit être prise, dans le cas d'une aggravation de la sévérité de l'EA au cours du cycle de sollicitation :

- le critère d'évolution du bruit de fond ① est dépassé.
- Ou
- les critères ② et ③ sont vérifiés ou les seuils des critères ④, ⑤ et ⑥ sont dépassés.
- Ou
- le seuil du critère ⑦ est dépassé

Note : Méthode d'analyse des critères

① *Quand le critère est qualitatif : il est vérifié ou non-vérifié*

② *Quand le critère est quantitatif : le seuil du critère est dépassé ou non-dépassé*

7. ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES DONNÉES

Les données sont ensuite traitées et analysées pour réaliser le diagnostic final de l'examen.

Le prestataire doit posséder une méthode d'analyse adaptée et formalisée au cas de l'examen de l'échangeur (procédures écrites, base de données, seuils, critères en fonction des matériaux et des conditions d'essais...) et l'expérience suffisante, lui permettant notamment de définir et de justifier les filtrages éventuels et le traitement des données.

L'analyse et l'interprétation des résultats doivent tenir compte des sources externes à l'enveloppe contrôlée, dues en particulier au bruit susceptible de se produire en raison:

- de la présence d'équipements au voisinage immédiat de l'échangeur (machines tournantes, ...)
- de la présence d'organes internes et/ou revêtement dans l'équipement dont certains peuvent être en mouvement et/ou en vibrations.

Les critères sont appliqués aux salves détectées par le premier capteur atteint (zones) pour le classement en catégories 1, 2 ou 3, ils sont complétés par une analyse des clusters.

Pour les aciers inclus dans le domaine d'application de cette annexe, et après filtrage de la totalité des salves dues à des sources externes, ils sont :

- Seuil d'évaluation : 50 dB_{EA}
- Seuil de référence : 65 dB_{EA}
- Critère en palier : Nombre d'événements après 2 min de palier et pendant 8 min de palier, d'amplitude supérieure ou égale au seuil d'évaluation (ce critère ne s'applique pas aux paliers à pression réduite).

Pour l'effet Kaiser, le rapport de charge est calculé pour un N_F de 5 et un P_F de 5%.

Cette analyse zonale est complétée par une analyse des clusters répondant aux exigences du § 5.2.3.2, les critères de déclenchement de ces clusters sont :

- taille : 10% de la distance entre capteurs de la maille
- seuil en activité : 5 événements

La contribution de ces clusters à l'activité de la zone dans laquelle ils sont localisés est évaluée, pour chaque critère 4, 5 et 6 des tableaux 2 et 3, en donnant, par exemple, le rapport des événements de chaque cluster par rapport au nombre total d'événements de la zone.

Le suivi des évolutions, en fonction de l'augmentation de pression, en activité et intensité de ces clusters permet leur classement en fonction des tendances correspondant aux critères 9 et 10 des tableaux 2 et 3.

Tableau 2 Critères : cas des aciers non alliés de limite d'élasticité inférieure ou égale à 460 MPa (après filtrage de l'éventuelle activité EA liée à des sources externes.) pour une sollicitation à $P_{max}=110\%$ PMA

Définition critère	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3
② Activité, évolution/ zone*	$\Delta N/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression (1)	$\Delta N/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
③ Intensité, évolution/ zone*	$\Delta I/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression (1)	$\Delta I/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
④ N1s / zone*	< 60	≥ 60	≥ 600
⑤ N2s / zone*	< 5	≥ 5	≥ 50
⑥ N3s / zone*	< 10	≥ 10	≥ 40
⑧ Rapport des charges / zone (*) (**)	≥ 1	< 1	< 1
⑨ Activité, évolution/ cluster	$\Delta N/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
⑩ Intensité, évolution/ cluster	$\Delta I/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
⑪ Activité Nce/cluster (2)	< 10	≥ 10 et < 50	≥ 50

(*) L'émission acoustique enregistrée par zone prend en compte les salves détectées par le 1^{er} capteur atteint

(**) Applicable seulement pour les cycles de pressurisation avec descentes

(1) Pour la catégorie 1, les critères ② et ③ ne sont applicables que si le critère ④ est dépassé

(2) Critère non applicable à la plaque tubulaire.

Définition des catégories des zones

► Catégorie 2 :

Les critères ② et ③ sont vérifiés

Et

Deux des critères ④, ⑤ ou ⑥ sont dépassés

Ou

Les critères ⑨ et ⑩ sont vérifiés ou le critère ⑧ est dépassé

► Catégorie 3 :

Les critères ② et ③ sont vérifiés

Et

les seuils des trois critères ④, ⑤ et ⑥ sont dépassés.

Ou

Les deux critères ⑨ et ⑩ sont vérifiés ou le critère ⑧ est dépassé.

► Catégorie 1 : tous les autres cas ne remplissant pas les critères des catégories 2 et 3.

Note critère ⑧ : dans le cas d'un rapport de charge inférieur à 1, le non-respect de l'effet Kaiser doit faire l'objet d'une interprétation

Tableau 3 Critères : cas des aciers faiblement alliés de limite d'élasticité inférieure ou égale à 460 MPa (après filtrage de l'éventuelle activité EA liée à des sources externes.) pour une sollicitation à $P_{max}=110\%$ PMA.

Définition critère	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3
② Activité, évolution/ zone*	$\Delta N/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression (1)	$\Delta N/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
③ Intensité, évolution/ zone*	$\Delta I/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression (1)	$\Delta I/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
④ N1s / zone*	< 50	≥ 50	≥ 550
⑤ N2s / zone*	< 5	≥ 5	≥ 40
⑥ N3s / zone*	< 10	≥ 10	≥ 30
⑧ Rapport des charges / zone (*) (**)	≥ 1	< 1	< 1
⑨ Activité, évolution/ cluster	$\Delta N/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta N/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
⑩ Intensité, évolution/ cluster	$\Delta I/\Delta P$ décroissant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ constant avec l'augmentation de pression	$\Delta I/\Delta P$ croissant avec l'augmentation de pression
⑪ Activité Nce/cluster (2)	<10	≥ 10 et < 45	≥ 45

(*) L'émission acoustique enregistrée par zone prend en compte les salves détectées par le 1er capteur atteint

(**) Applicable seulement pour les cycles de pressurisation avec descentes

(1) Pour la catégorie 1, les critères ② et ③ ne sont applicables que si le critère ④ est dépassé

(2) Critère non applicable à la plaque tubulaire

Définition des catégories des zones

► Catégorie 2 :

Les critères ② et ③ sont vérifiés

Et

Deux des critères ④, ⑤ ou ⑥ sont dépassés

Ou

Les critères ⑨ et ⑩ sont vérifiés ou le critère ⑪ est dépassé

► Catégorie 3 :

les critères ② et ③ sont vérifiés

Et

les seuils des trois critères ④, ⑤ et ⑥ sont dépassés.

Ou

Les deux critères ⑨ et ⑩ sont vérifiés ou le critère ⑪ est dépassé.

► **Catégorie 1** : tous les autres cas ne remplissant pas les critères des catégories 2 et 3.

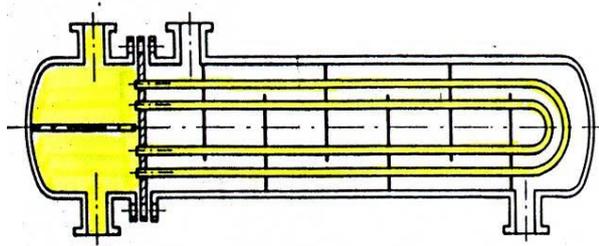
Note critère @ : dans le cas d'un rapport de charge inférieur à 1, le non-respect de l'effet Kaiser doit faire l'objet d'une interprétation

8. RAPPORT FINAL – SPÉCIFICITÉS

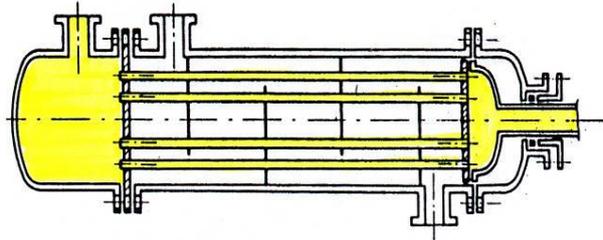
Le rapport doit inclure en complément des éléments généraux requis (voir § 9 du corps du guide) :

- les conclusions des vérifications de la faisabilité de l'essai par l'exploitant (voir §3) et le prestataire (voir §5) ainsi que la description de la préparation de l'ESP par le donneur d'ordre (voir §3)
- la justification des zones couvertes non vérifiées (voir § 6.3.2 et 6.3.3)
- les éléments exclus du diagnostic, voir §1 et §3.

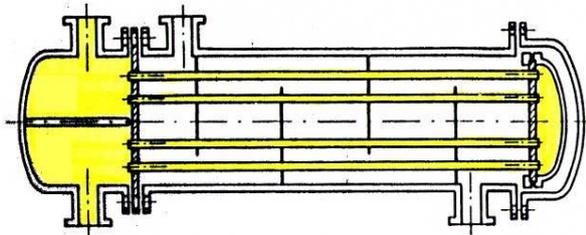
Figures 1 : Schéma développé des types d'échangeurs couverts par cette annexe



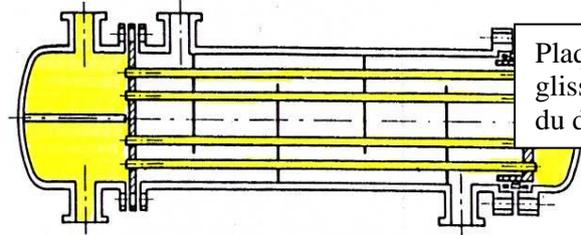
Échangeur à tubes en U.



Échangeur à tête glissante intérieure.

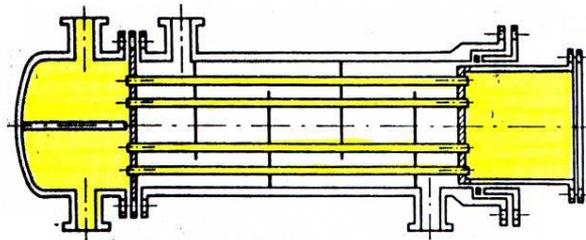


Échangeur à tête flottante.

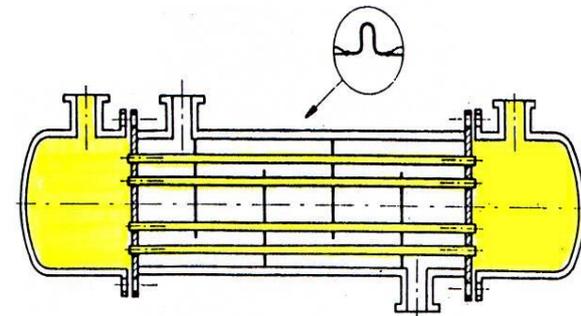


Échangeur à plaque glissante.

Plaque tubulaire glissante exclue du diagnostic



Échangeur à tête glissante extérieure.



Échangeur à 2 plaques fixes.

Exemple d'implantation des capteurs sur un échangeur

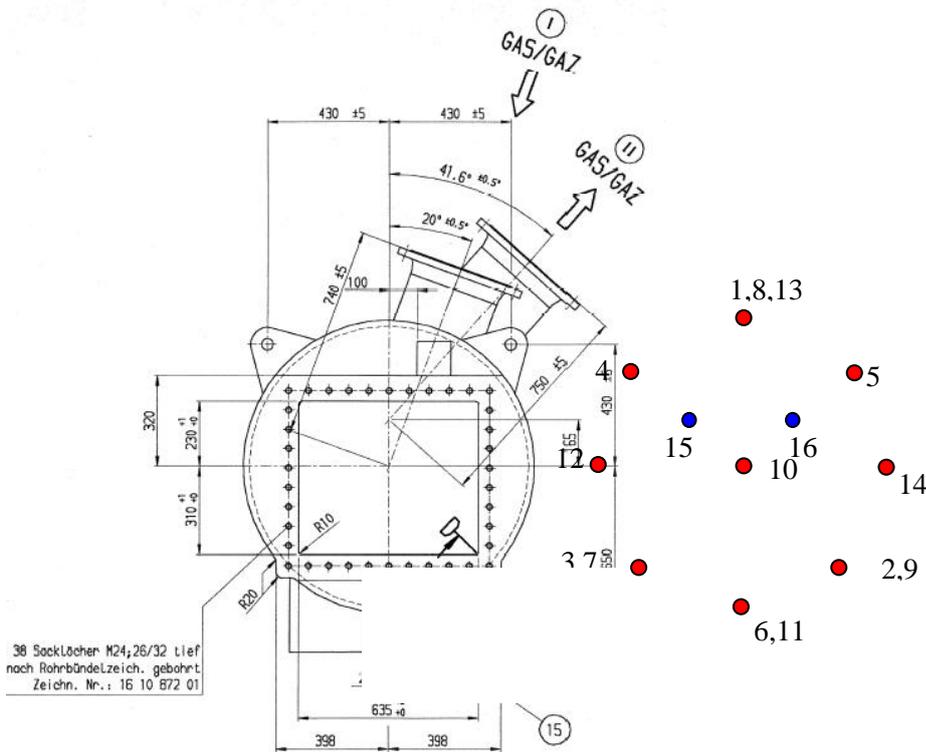
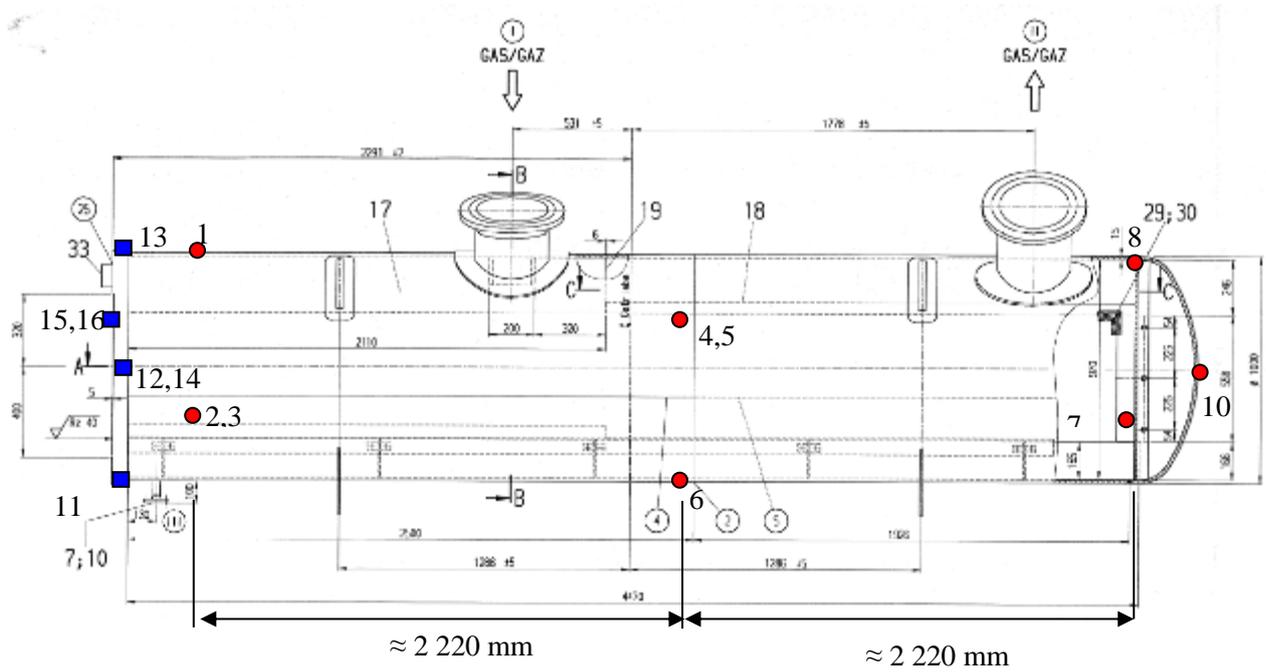


Figure 2 : Exemple de courbe d'atténuation

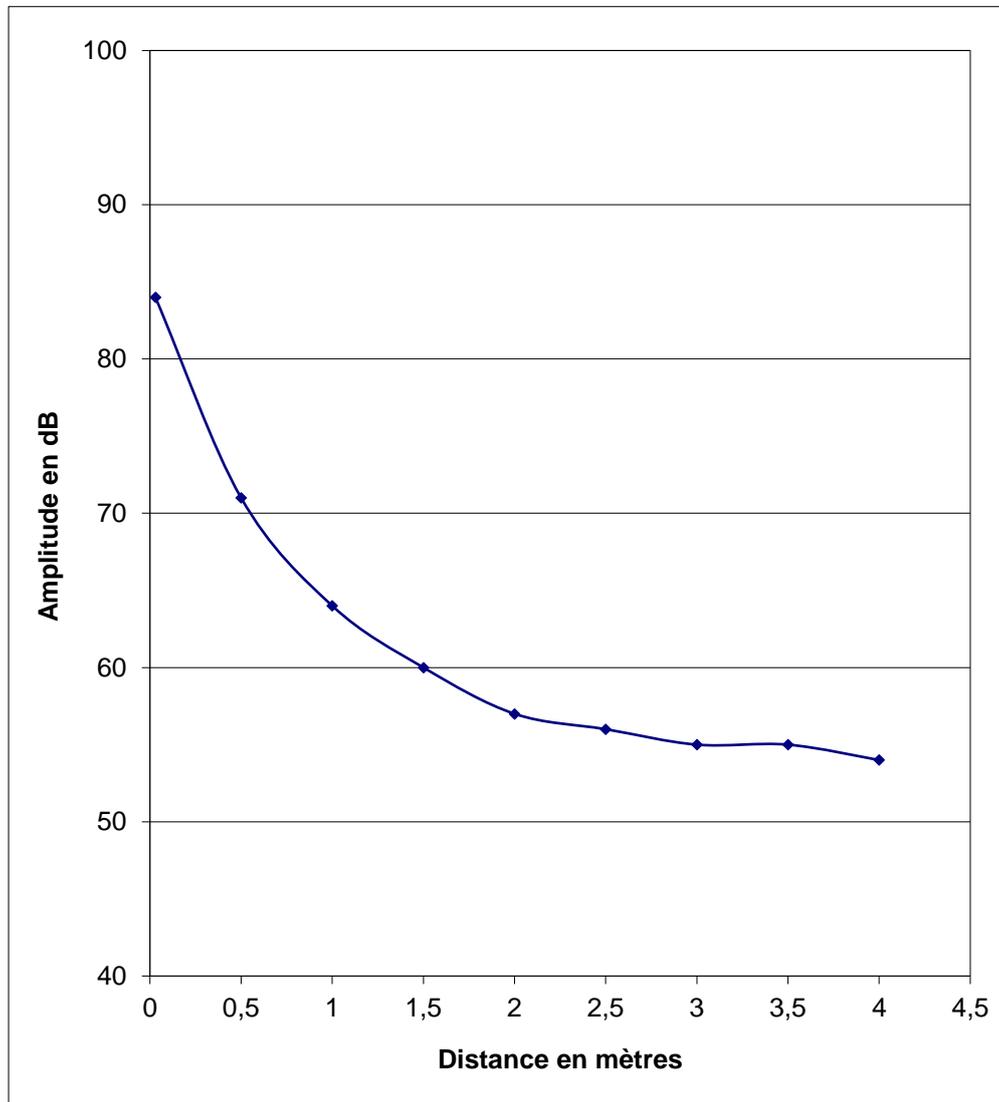
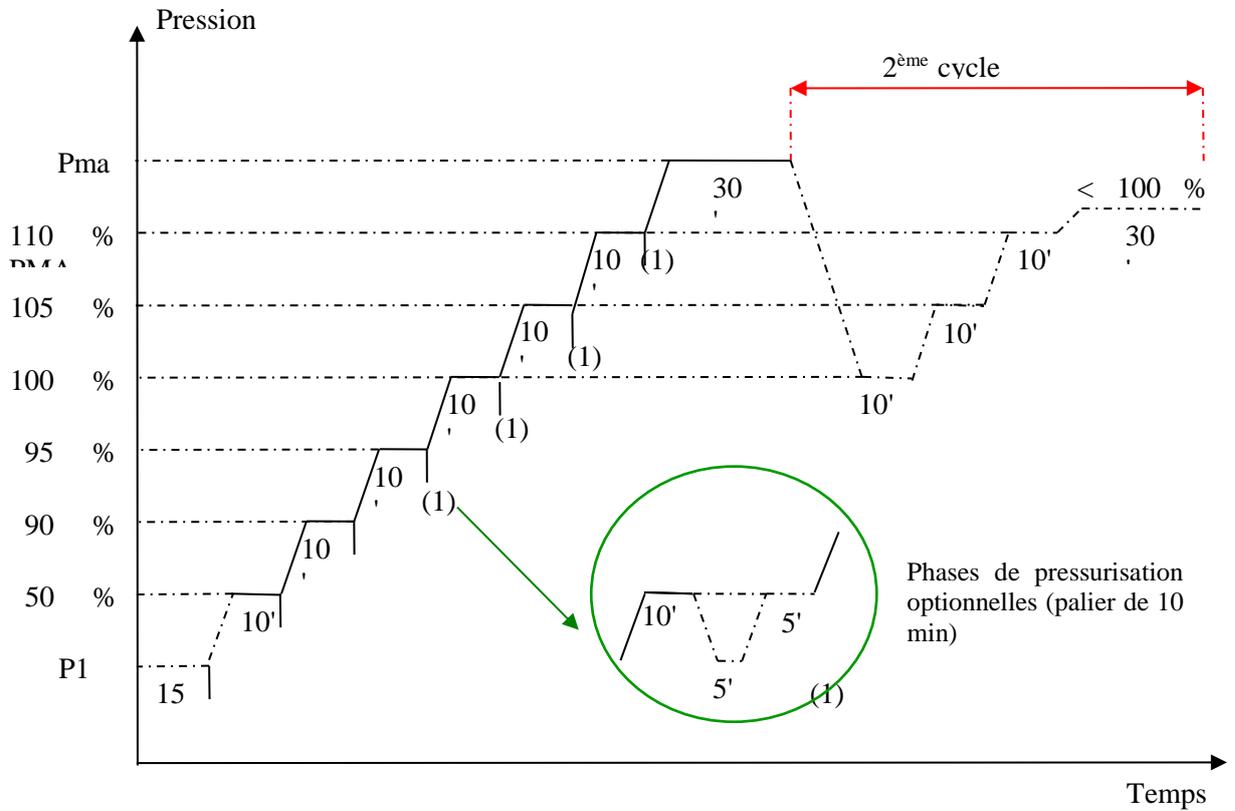


Figure 3: Exemple de cycle de sollicitation



- Cycle minimum à pratiquer entre 50% PMA et Pmax, sans vérification de l'effet Kaiser
- - - Phase(s) à retenir en fonction de l'activité EA (voir § 6.4.2 & 6.5.2) ou pour vérification de l'effet Kaiser ou à la demande d'une des parties
- Pmax Pression maximale d'essai $\geq 110\%$ de PMA
- PMA Pression maximale appliquée en service (période de référence)
- P1 Pression de début d'essai, inférieure ou égale à 50% de PMA.

Note : selon la pression de début d'essai, d'autres paliers peuvent être ajoutés, avant 50 % PMA.

La présente édition du guide a été élaborée sur la base des connaissances, et de l'expérience que les membres du GEA ont accepté de mettre en commun.

Le guide traduit, à sa date d'édition, le consensus des différentes composantes du « Groupe Emission Acoustique » concernant l'état de cette technique de contrôle, ses possibilités, la nature et le contenu souhaités des documents à élaborer pour sa mise en œuvre et l'interprétation des résultats.

Les règles proposées sont des règles minimales, elles ne sont pas exhaustives, elles sont à adapter à chaque situation notamment en fonction du type, de la connaissance de l'historique et de l'estimation de l'état de l'équipement sur lequel l'essai est pratiqué, du comportement prévisible des matériaux qui le constituent, du type et des caractéristiques des matériels d'essai, de l'expérience de l'opérateur de la méthode...

Le retour d'expérience des pratiques du « Guide Emission Acoustique » par les industriels et les prestataires est effectué annuellement. Il permet de faire évoluer périodiquement le corps du guide, ses annexes et de préparer une nouvelle édition et si nécessaire de nouvelles annexes.

Les demandes d'interprétations et les propositions d'aménagements doivent être adressées par écrit au secrétariat de l'AFIAP. Un formulaire pour ce faire peut être obtenu auprès de ce dernier est disponible sur le site AFIAP.

Les propositions de modifications peuvent être prises en compte après examen par le GEA et les instances compétentes. Dans ce cas elles peuvent conduire à des amendements au guide portés dans une version ultérieure.

Du fait de l'évolution des techniques, de nouvelles possibilités peuvent apparaître postérieurement à l'édition du guide qui ne devra pas être considéré comme susceptible de constituer une entrave en limitant le champ d'application de cette méthode de contrôle non destructif.

L'AFIAP et les membres du GEA ne sauraient être impliqués dans les conséquences de l'utilisation totale ou partielle du guide, dans les conséquences d'une utilisation erronée du contenu du guide ni dans les conséquences des contrôles par émission acoustique mis en œuvre sur la base de tout ou partie de cette édition du guide et de ses annexes.



Association Française des Ingénieurs en Appareils à Pression

CS 30080 – 92038 LA DÉFENSE CEDEX

☎ +33 (0)1 47 17 61 63 - 📠 +33 (0)1 47 17 62 77

✉️ afiap@afiap.org - 🌐 www.afiap.org