



CAHIER TECHNIQUE PROFESSIONNEL

pour le suivi en service des fours

sous pression de gaz et de vapeur

SOMMAIRE

1. OBJET ET DOMAINE D APPLICATION	3
2. DISPOSITIONS REGLEMENTAIRES	4
3. MODES DE DEGRADATION.....	4
4. TECHNIQUES DE CONTROLES	5
5. PLAN D’INSPECTION GENERIQUE	5
6. PLAN D’INSPECTION APPLIQUE PAR L’EXPLOITANT.....	5
7. ACTIONS DE SURVEILLANCE	6
7.1 Suivi en marche	6
7.2 Inspection périodique et requalification périodique	6
8. DISPOSITIONS D’EXPLOITATION SPECIFIQUES.....	8
9. ORGANISATION ET COMPETENCE DU PERSONNEL.....	8
9.1 Elaboration du plan d’inspection	8
9.2 Mise en œuvre du plan d’inspection	8
10. DOCUMENTATION MINIMALE.....	9
11. GESTION DU RETOUR D’EXPERIENCE	10
12. RELATIONS AVEC L’ADMINISTRATION.....	10
ANNEXE 1 - MODES DE DEGRADATIONS SPECIFIQUES AUX FOURS ET MOYENS DE CONTROLES ENVISAGEABLES	11
ANNEXE 2 – EXEMPLES DE FOURS	12
ANNEXE 3 – EXEMPLES DE PLAN D’INSPECTION	14
ANNEXE 4 – FORMULAIRE DE REMONTEE DU REX SUR LE SUIVI EN SERVICE DES FOURS.....	21

1. OBJET ET DOMAINE D APPLICATION

Le présent cahier technique professionnel précise les dispositions spécifiques à appliquer aux faisceaux tubulaires des fours de l'industrie pétrolière, chimique ou des gaz industriels.

Il est applicable aux faisceaux tubulaires des fours de l'industrie pétrolière, chimique ou des gaz industriels soumis à l'arrêté ministériel du 20/11/17 :

- de fluide groupe 1
- de vapeur ayant une $P_s \leq 10$ bar et une $T_s \geq 700^\circ\text{C}$.

Ce CTP n'est pas applicable aux fours dont la source de chaleur n'est pas une combustion (exemple : four électrique) et aux fours dont les produits de combustion sont à l'intérieur des tubes (exemple : four d'usine à soufre).

Dans la plupart des unités de raffinage, de pétrochimie, de chimie ou de production d'hydrogène, l'apport d'énergie thermique requise par le procédé se fait par l'intermédiaire de fours à chauffage direct dans lesquels l'énergie produite par la combustion est transmise directement au fluide à réchauffer qui circule dans un serpentin tubulaire ou un faisceau de tubes de radiation ou de convection (d'où l'appellation four tubulaire).

Selon l'effet de l'apport de chaleur au fluide, on peut distinguer :

- ▶ Les fours de réchauffage de fluide sans changement physique, c'est le cas par exemple :
 - Des fours des unités de réformage catalytique ou d'hydrotraitement de coupe légère ou la charge est déjà vaporisée à l'entrée du four
 - Des fours d'huile chaude
- ▶ Les fours de réchauffage de liquide avec vaporisation partielle que l'on rencontre en particulier dans les unités de distillation :
 - Fours de distillation atmosphérique et sous vide de pétrole brut
 - Fours de rebouillage
- ▶ Les fours de réchauffage de fluide avec réaction chimique. Le faisceau tubulaire du four peut alors être assimilé à un véritable réacteur chimique. On rencontre ce type de four dans les unités de craquage thermique, par exemple : four de viscoréduction, four de vapocraquage (production d'éthylène), four de craquage de Dichloroéthylène; ainsi que dans certains procédés catalytiques comme le réformage à la vapeur (fabrication d'hydrogène). Dans ce dernier cas un catalyseur est placé à l'intérieur même des tubes du faisceau.

Quelques exemples de configuration sont représentés dans les figures de l'annexe 2.

L'exécution de l'épreuve hydraulique de requalification peut présenter des difficultés parce qu'elle :

- est difficilement réalisable, par exemple :
 - cas des faisceaux assemblés par soudage aux collecteurs et équipements attenants,
 - cas des faisceaux non vidangeables ou difficilement vidangeables
- entraînerait une détérioration du process ou de l'équipement, par exemple :
 - cas des faisceaux, ou équipements avals, remplis de catalyseurs
 - cas des collecteurs ou équipements à parois froides non isolables

- créerait un risque important d'intégrité de l'équipement du fait d'un problème technique à la température d'épreuve telle une diminution de résilience et de ténacité du matériau, par exemple :
 - cas des aciers faiblement alliés susceptibles de fragilisation réversible ou irréversible de revenu
 - cas des aciers susceptibles de nitruration, de carburation
 - cas des matériaux susceptibles d'apparition de phases fragilisantes, telle la phase sigma des aciers inoxydables austénitiques.
- créerait un risque important du fait de l'impossibilité de remplir correctement les faisceaux sans laisser une phase gaz significative.

Il est à noter que la réalisation d'une visite interne lors des inspections périodiques ou requalifications périodiques entraîne souvent des difficultés identiques, soit liées à la conception des faisceaux non démontables, soit liées à la présence de catalyseur dans les tubes.

Le but du CTP est de :

- mettre à disposition de l'exploitant des éléments permettant d'établir des plans d'inspection pour les fours
- pouvoir se dispenser d'épreuve hydraulique lors de la requalification périodique
- lorsque nécessaire, se dispenser de la vérification intérieure lors des inspections périodiques et des requalifications périodiques.

2. DISPOSITIONS REGLEMENTAIRES

- Code de l'environnement
- Directive 2014/68/UE relatives aux équipements sous pression,
- Arrêté du 20 novembre 2017 relatif au suivi en service des équipements sous pression et récipients à pression simples,
- Guide professionnel pour l'élaboration de guides et cahiers techniques professionnels servant à l'élaboration de plans d'inspections pour le suivi en service des équipements sous pression et récipients à pression simples GGPI 2019-01 rev 0
- DT75 Révision en vigueur « Guide pour le choix des méthodes de contrôle des matériaux et équipements »

3. MODES DE DEGRADATION

Les principaux modes de dégradation sont identifiés et définis en annexe 1, à l'appui du REX de l'industrie pétrolière, chimique ou des gaz industriels.

Ils sont sélectionnés par la personne compétente désignée par l'exploitant rédigeant le plan d'inspection. Cette sélection se fait en fonction des matériaux constituant les faisceaux tubulaires, la nature des fluides, les conditions de design, les paramètres opératoires et le retour d'expérience.

Les paramètres opératoires incluent les phases de production du four, ainsi que les phases transitoires, les phases d'arrêt et de redémarrage.

L'étendue et la localisation des contrôles seront définies dans les plans d'inspection.

Un exploitant peut ajouter un mode de dégradation propre à l'installation qui n'aurait pas été cité dans ce CTP. L'ajout de mode de dégradation donnera lieu à un REX vers le porteur du CTP conformément au paragraphe 11 sur la gestion du retour d'expérience.

4. TECHNIQUES DE CONTROLES

Les techniques de contrôles et leurs périodicités sont définies dans les plans d'inspection de chaque équipement en fonction des modes de dégradations identifiés par la personne compétente désignée par l'exploitant sur la base de l'annexe 1, de la conception des équipements et suivant les recommandations du DT 75 applicable au moment de la validation du plan d'inspection.

Ainsi, les END retenus permettent de détecter et/ou de caractériser le type de défaut redouté en fonction des modes de dégradations retenus et disposent d'une sensibilité adaptée à la détection et/ou à la caractérisation des défauts susceptibles de remettre en cause l'intégrité des faisceaux tubulaires de fours.

5. PLAN D'INSPECTION GENERIQUE

De par la grande diversité des conceptions de fours, utilisés sur des procédés très différents, il n'est pas imposé de plan d'inspection générique définissant la localisation et l'étendue des END à réaliser. L'annexe 3 fournit à l'exploitant des exemples de plans d'inspection.

Les caractéristiques des faisceaux tubulaires (de construction et d'utilisation), les modes de dégradation susceptibles de les affecter, les zones sensibles à contrôler, les conditions de préparation des fours lors des visites (...) seront propres à chaque plan d'inspection élaboré par l'exploitant.

La périodicité des inspections et requalifications périodiques des faisceaux tubulaires et de leurs accessoires sous pression associés est précisée dans les plans d'inspection. L'intervalle séparant deux inspections ou deux requalifications périodiques consécutives ne peut être supérieur à, respectivement, 6 et 12 ans pour les exploitants ne disposant pas d'un SIR.

La périodicité des contrôles intermédiaires est également précisée dans les plans d'inspection.

6. PLAN D'INSPECTION APPLIQUE PAR L'EXPLOITANT

L'exploitant rédige un plan d'inspection pour chaque équipement individuel, en se basant sur l'annexe 3. Il y précise l'identification des accessoires sous pression et des accessoires de sécurités associés.

Par ailleurs, il le complète si besoin, en tenant compte notamment de l'historique, de l'état et des conditions d'exploitation du four, par :

- les caractéristiques spécifiques éventuelles de l'équipement,
- les modes de dégradation spécifiques à l'équipement qui ne seraient pas prévus par le CTP,
- la localisation de zones sensibles spécifiques à l'équipement.

Le guide GGPI mentionne la notion de COCL : Conditions Opératoires Critiques Limites (COCL) : Seuils fixés à un paramètre physique ou chimique (température, pH, vitesse de fluides, concentration d'un contaminant) qui, s'ils sont dépassés, peuvent avoir un impact notable sur le comportement, l'état ou l'endommagement de l'équipement, ou peuvent entraîner l'apparition d'un nouveau phénomène de dégradation. Ces seuils peuvent être associés à une durée qui doit être préalablement spécifiée.

Si l'exploitant retient des conditions opératoires critiques limites, celles-ci sont mentionnées dans le plan d'inspection. Une ou plusieurs procédures de l'exploitant précisent les conditions de suivi et d'enregistrement des éventuelles COCL retenues ainsi que les actions à entreprendre en cas de dépassement.

Des procédures d'exploitation sur les moyens de se prémunir du risque de surpression à froid doivent exister (par exemple, procédure de redémarrage d'un four, avec mention de rampes de températures maximum, ...). Ces mesures de prévention doivent être approuvées par le SIR ou l'OH même si elles ne sont pas retenues en tant que COCL.

Le plan d'inspection est un des documents constituant le dossier d'exploitation de l'équipement.

La révision du plan d'inspection doit être envisagée a minima suite aux évènements suivants :

- modification des conditions d'exploitation ayant un impact significatif sur les modes de dégradation,
- modification des conditions de calcul de l'équipement,
- modification du groupe de matériau constitutif du faisceau,
- constat d'une dégradation du faisceau non prévue dans le plan d'inspection,
- intervention (modification, réparation) sur l'équipement,
- incident ou accident impactant l'équipement,
- dépassement de COCL si les conséquences le justifient,
- révision du CTP
- retour d'expérience interne ou externe ayant un impact sur le plan d'inspection.

L'approbation d'un plan d'inspection créé pour un équipement neuf est réalisée dans les 18 mois qui suivent sa mise en service. L'approbation d'un plan d'inspection créé ou révisé sur un équipement existant est réalisée au plus tard lors de la prochaine inspection périodique ou requalification périodique.

L'approbation est réalisée par un OH ou le SIR.

7. ACTIONS DE SURVEILLANCE

7.1 Suivi en marche

Le suivi en marche entre 2 échéances d'inspection périodique doit inclure une vérification visuelle externe des parties visibles à partir des ouvertures conçues dans le four à cette fin lorsqu'elles existent, pouvant être complétée par un contrôle des températures des peaux de tubes.

Notamment, ce suivi des tubes et de leurs supports peut servir à vérifier l'absence de point chaud et de déformation, l'absence d'impact des flammes sur les tubes, l'absence de fuite, la présence et l'intégrité des supports.

Ces actions de suivi en marche sont indiquées dans le plan d'inspection et sont réalisées par les opérateurs selon une procédure établie par l'exploitant. Elles ne sont pas à tracer dans le dossier d'exploitation du four. Les anomalies notables sont tracées via l'émission de demandes d'intervention auprès de services maintenance et ne figurent pas dans le dossier d'exploitation.

7.2 Inspection périodique et requalification périodique

Le plan d'inspection applicable lors de l'inspection périodique et de la requalification périodique précise la nature, l'étendue, les modalités de mise en œuvre des inspections, contrôles et essais à réaliser. Les techniques d'inspection et de contrôle applicables doivent permettre de détecter les éventuels dommages, conséquences des modes de dégradation retenus dans le plan d'inspection. Le plan d'inspection peut ne pas

reprendre la totalité des modes présentés dans l'annexe 1 "Modes de dégradation potentiels", ceux-ci étant notamment fonction :

- du procédé et des fluides en présence
- du combustible employé
- de la température du produit
- de la métallurgie et de la température de peau des tubes
- de la pression
- de la stabilité du procédé

Le choix des zones sélectionnées pour être contrôlées est indiqué dans le plan d'inspection. Les localisations et étendues des inspections et contrôles doivent permettre d'obtenir des résultats représentatifs de l'état de l'ensemble de l'équipement. Les conditions de préparation des faisceaux (accès, ouvertures de trappes,...) doivent permettre la bonne réalisation des actions d'inspection prévues.

L'étendue des contrôles est définie par type de dommage potentiel en fonction de l'historique de l'équipement et des événements d'exploitation qu'il aura subis pendant la période qui aura précédé l'échéance périodique ainsi que du retour d'expérience de l'exploitant et de la profession sur le type d'équipement considéré.

Les critères applicables d'acceptation de défaut sont soit ceux de normes ou référentiels techniques en vigueur lors de la fabrication quand disponibles (ou versions postérieures applicables), soit des critères portés dans les protocoles particuliers (d'une ingénierie, de l'exploitant, d'un fabricant...) mis à disposition de l'expert de l'organisme habilité.

L'inspection périodique et la requalification périodique comprennent à minima :

- Un examen visuel externe de la radiation et des tubes de choc (première rangée de tubes de la convection)
- Un examen visuel externe des supportages pour vérifier leur bon état
- Un examen visuel externe des zones accessibles de la convection
- Un examen visuel externe des accessoires sous pression raccordés au four
- Des END adaptés aux modes de dégradation retenus (rencontrés et potentiels) sur les différents composants de la radiation, des tubes de choc et au niveau des zones accessibles de la convection
- Une vérification des accessoires de sécurité (y compris dispositif de sécurité) associés au four

En cas d'intervention pour découpe d'une portion de tube, celle-ci sera mise à profit pour effectuer un contrôle visuel interne du tube par les orifices rendus accessibles. Des essais destructifs sur la portion de tube déposée peuvent être envisagés pour plus d'enseignement sur les modes de dégradation potentiels.

En cas de remplacement du catalyseur présent dans les tubes, une inspection interne par endoscopie peut être réalisée si le plan d'inspection le justifie (mode de dégradation potentiel interne).

Lors de la requalification périodique, l'épreuve hydraulique n'est pas retenue car entraînant des difficultés matérielles importantes comme argumenté dans le paragraphe 1. De même, lors des interventions notables, l'épreuve hydraulique sur site n'est pas requise, comme prévu par l'alinéa sur les assemblages permanents non longitudinaux des éléments tubulaires de la partie VII de l'article 28 de l'arrêté du 20/11/17.

Des contrôles intermédiaires réalisés sur arrêt de four peuvent être mis en œuvre indépendamment des échéances d'inspection périodique et requalification périodique lorsque le plan d'inspection le requiert.

Pour les exploitants ne disposant pas de SIR, un contrôle intermédiaire sera réalisé au maximum durant la troisième année suivant la dernière inspection ou requalification périodique pour bénéficier de périodicités étendues. Ce contrôle, effectué par une personne compétente ou par un organisme habilité, comprendra au minimum une inspection visuelle externe des tubes et des collecteurs lors de l'arrêt du four, complétée par des contrôles non destructifs si le visuel met en évidence un problème d'intégrité.

Les différentes opérations et interventions mentionnées dans ce paragraphe seront tracées dans le dossier d'exploitation du four conformément à l'article 6 de l'arrêté du 20/11/17. Les durées de conservation minimale des différents documents sont celles mentionnées dans ce même article.

8. DISPOSITIONS D'EXPLOITATION SPECIFIQUES

Une mise au chômage correspond à un arrêt d'exploitation prolongé de l'équipement pour une durée indéfinie à l'origine. L'application des actions de surveillance prévues dans son plan d'inspection peut être suspendue selon la conséquence de la mise au chômage sur les modes de dégradations retenus. Une surveillance minimale veillant à s'assurer des bonnes conditions de conservation de l'équipement est mise en œuvre (cf exemple dans plan d'inspection d'un four d'une unité Styrene en annexe 3).

En cas de mise au chômage d'un four, les dispositions du point III de l'article 4 de l'Arrêté ministériel du 20 novembre 2017 doivent être mises en application et tracées dans le dossier d'exploitation.

Les interventions techniques, telles les réparations ou modifications, sont traitées conformément aux articles 27 à 29 de l'Arrêté ministériel du 20 novembre 2017.

9. ORGANISATION ET COMPETENCE DU PERSONNEL

9.1 Elaboration du plan d'inspection

L'exploitant désigne les personnes compétentes (cf définition à l'article 2 de l'arrêté du 20 novembre 2017) au vu de leurs formations initiales, de leurs formations continues et de leurs expériences professionnelles, pour rédiger les plans d'inspections sur la base de l'annexe 3.

Des connaissances suffisantes sont requises sur ce cahier technique professionnel, les matériaux constituant les faisceaux tubulaires des fours, leurs modes de dégradations potentiels, l'exploitation des fours et les risques associés, les méthodes d'essais non destructifs et destructifs ainsi que leurs domaines d'application.

La personne chargée de l'élaboration d'un PI est soit :

- un inspecteur d'un SIR, habilité à cet effet,
- un inspecteur d'un service d'inspection ou un technicien d'une société extérieure, désigné par l'exploitant, pouvant justifier :
 - de 2 ans d'expérience minimum dans le domaine des équipements sous pression (maintenance, inspection, END) ;
 - de connaissances adaptées aux missions confiées (réglementation, codes, normes, CTP et guides, matériaux, métallurgie ...);
 - d'une habilitation nominative de l'employeur.

La détermination des modes de dégradation, la rédaction et le respect des dispositions du PI sont de la responsabilité de l'exploitant quel que soit le niveau d'intervention d'éventuels sous-traitants.

L'exploitant valide la proposition de PI avant de la soumettre à l'approbation de l'OH ou du SIR.

9.2 Mise en œuvre du plan d'inspection

Les inspections sont réalisées par une personne compétente désignée par l'exploitant ou par un expert d'un OH. Certaines opérations d'inspection peuvent être sous-traitées à des spécialistes.

La personne chargée de la mise en œuvre du plan d'inspection est soit :

- un inspecteur d'un SIR, habilité à cet effet,

- un inspecteur d'un service d'inspection ou un technicien d'une société extérieure, désigné par l'exploitant, pouvant justifier :
 - de 2 ans d'expérience minimum dans le domaine des équipements sous pression (maintenance, inspection, END) ;
 - de connaissances adaptées aux missions confiées (réglementation, codes, normes, CTP et guides, matériaux, métallurgie ...) ;
 - d'une habilitation nominative de l'employeur.
- un technicien d'un autre service de l'exploitant pour les actions à réaliser en marche.

La personne chargée de la mise en œuvre du plan d'inspection est informée de :

- tout dépassement des éventuelles COCL et s'assure du traitement de ces dépassements,
- toute évolution des paramètres d'exploitation pouvant avoir un impact sur le four suivi selon ce CTP
- toute intervention, incident ou accident susceptible de remettre en cause son intégrité.

Le personnel en charge des END est certifié selon les dispositions de la norme NF EN ISO 9712 ou équivalent sauf pour certains END ne relevant pas d'une certification (mesures d'épaisseur par ultrasons, contrôles visuels directs, ...). Les END relevant d'une certification sont réalisés selon des procédures validées par un agent certifié niveau 3 au titre de la norme NF EN ISO 9712 ou équivalent.

Chaque exploitant est responsable de la mise en œuvre du CTP. Parmi les responsabilités qui lui incombent, l'exploitant doit notamment :

- s'assurer que les modes de dégradation retenus dans le CTP sont exhaustifs pour ses équipements,
- identifier les modes de dégradation non identifiés par le CTP et qui seraient propres à ses équipements,
- s'assurer que les COCL sont suivies, enregistrées et leurs dépassements analysés (avec engagement d'action lorsque requis) et que les documents le traçant soient disponibles dans le dossier d'exploitation,
- s'assurer que les PI des équipements contiennent les informations indiquées au TABLEAU 1 - Informations constituant le plan d'inspection (cf annexe 3),
- solliciter l'approbation du PI par un OH ou par son SIR.

10. DOCUMENTATION MINIMALE

La documentation dont dispose l'exploitant comprend les documents prévus dans le dossier d'exploitation à l'article 6 de l'arrêté du 20 novembre 2017.

L'exploitant détient également les documents qui lui permettent de justifier :

- de l'applicabilité du CTP à ses équipements,
- qu'il met correctement en œuvre les PI et, à ce titre, détient :
 - les plans d'inspection des équipements suivis,
 - les enregistrements relatifs à la désignation et à la compétence du personnel désigné par l'exploitant qui met en œuvre le PI,
 - les justificatifs des habilitations ou certifications des agents en charge des inspections et des END,
 - les rapports relatifs aux actions de surveillance et contrôles mis en œuvre dans le cadre des PI,
 - les enregistrements et analyses relatives aux dépassements des éventuelles COCL.

Le dossier d'exploitation est mis à jour et conservé pendant toute la durée de vie de l'équipement. Ce dossier peut se présenter sous forme de documents sur papier ou numériques. Ces documents sont tenus à la disposition des OH et de l'autorité administrative compétente.

11. GESTION DU RETOUR D'EXPERIENCE

Les exploitants mettront à disposition de l'AFIAP, tous les ans, le REX concernant la mise en œuvre de ce CTP suivant l'annexe 4, notamment sur la sélection de modes de dégradation dans leurs plans d'inspection ne figurant pas dans l'annexe 1. L'AFIAP remonte un bilan annuel de ce REX à l'autorité administrative compétente. De même, les exploitants remontent à leurs organisations professionnelles les informations requises par la collecte d'informations de l'OBservatoire des Appareils à Pression (OBAP).

Le démantèlement d'un four peut donner lieu à des actions de contrôle ou d'expertise pour capitaliser un REX interne ou à diffuser à l'organisation professionnelle.

12. RELATIONS AVEC L'ADMINISTRATION

L'exploitant met à disposition des agents chargés de la surveillance des appareils à pression l'ensemble des documents et des informations permettant de répondre aux exigences du présent CTP et relevant de sa responsabilité.

Il tient à disposition des agents chargés du contrôle des appareils à pression, la liste des équipements conformément à l'article 6- III de l'arrêté du 20/11/2017.

L'article L. 557-49 du Code de l'environnement dispose que « [...] tout opérateur économique, tout exploitant et tout OH porte dès qu'il en est informé, à la connaissance de l'autorité administrative concernée :

- Tout accident occasionné par un produit ou un équipement ayant entraîné mort d'homme ou ayant provoqué des blessures ou des lésions graves ;
- Toute rupture accidentelle en service d'un produit ou d'un équipement soumis à au moins une opération de contrôle prévue à l'article L. 557-28. »

En complément, l'exploitant déclare, dès qu'il en est informé, au service en charge du suivi des équipements sous pression territorialement compétent, notamment les pertes de confinement avec rejet à l'extérieur du site ou à l'intérieur du site avec dommage corporel et/ou déclenchement du plan d'opérations interne ou toute situation définie dans une décision de l'autorité administrative compétente.

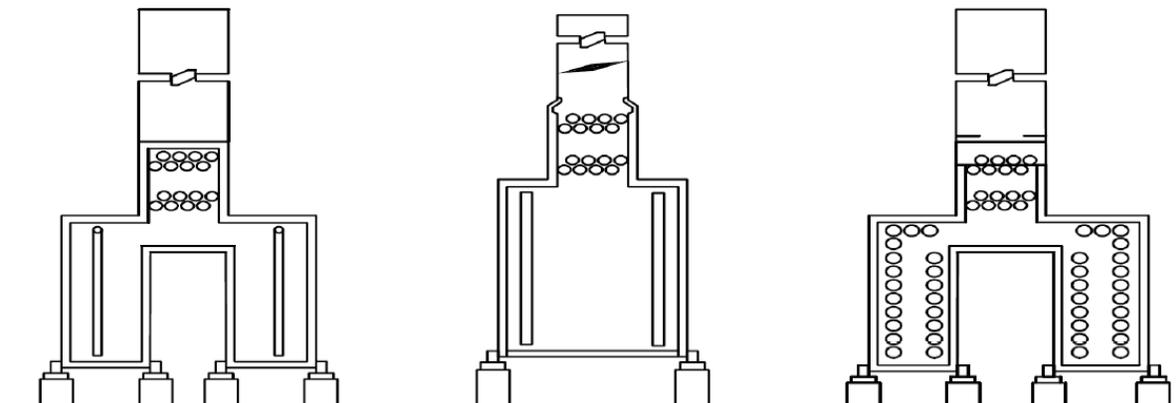
ANNEXE 1 - Modes de dégradations spécifiques aux fours et moyens de contrôles envisageables

Modes de dégradation potentiels	Effet	Exemples de contrôles possibles en marche	Exemples de contrôles possibles à l'arrêt
Corrosion interne	Perte d'épaisseur généralisée ou localisée	Néant	- Mesures d'épaisseur par ultrasons ou radiographie - Visuel selon accès, design
Corrosion externe	Perte d'épaisseur généralisée ou localisée	- visuel si réalisable en fonction du process et de la localisation	- Mesures d'épaisseur par ultrasons ou radiographie - Visuel selon accès, design
Fluage, Surchauffe locale	Déformation, amplifiée si anomalie de supportage ; flambage ; fissuration	- Observation de points chauds par caméra infrarouge ou autre matériel - Suivi des températures de peau de tube suivant conception	- Examen visuel pour recherche de déformation ou anomalie supportage - Contrôle des diamètres de tube - Prélèvement de manchettes pour examen métallographique et mécanique - Répliques fluage - Courants de Foucault
Dégradation liée à des facteurs métallurgiques	Dénaturation, fragilisation, microfissuration,...	Néant	- Ressuage - Examen par répliques - Prélèvement de manchettes pour examen métallographique et mécanique
Attaque par hydrogène à chaud	Dénaturation, fissuration	Néant	- Prélèvement de manchettes pour examen métallographique - Ultrasons spécifiques - Examen par répliques fluage - Magnétoscopie
Erosion interne	Perte d'épaisseur localisée	Néant	- Mesures d'épaisseur par ultrasons des points singuliers - Mesures par radiographie des points singuliers
Usure	Perte d'épaisseur localisée	Néant	- Examen visuel au droit des supports et des ramoneurs
Fatigue thermique	Fissuration	Néant	- Examen visuel - Recherche de défauts par ultrasons - Ressuage ou radiographie des zones à risque potentiel ou avéré
Fissuration sous contrainte par les acides polythioniques	Fissuration	Néant	- Ressuage ou radiographie des zones à risque potentiel - Recherche de défauts par ultrasons
Fissuration de soudure entre métaux dissemblables	Fissuration	Néant	- Ressuage ou radiographie des soudures hétérogènes à risque potentiel
Poudrage (Métal Dusting)	Perte d'épaisseur généralisée ou localisée	Néant	- Examen visuel - Mesures d'épaisseur par ultrasons - Mesures par radiographie
Fissuration due à la corrosion sous tension	Fissuration	Néant	- Ressuage ou radiographie des zones à risque potentiel - Recherche de défauts par ultrasons
Stress Relaxation Cracking	Fissuration	Néant	- Contrôle visuel - Ressuage des zones à risque potentiel ou avéré

D'autres modes de dégradation peuvent être à l'origine de pertes de confinement sur les faisceaux tubulaires de fours, tels le choc thermique ou la fragilisation par les métaux fondus, induisant des fissurations ou des ruptures fragiles de tubes. Cependant, leur retenue dans le plan d'inspection n'est pas requise car aucune action d'inspection ne peut anticiper ces endommagements.

ANNEXE 2 – Exemples de fours

A. Exemples de fours utilisés en pétrochimie



Four cabine avec faisceau vertical

Four cylindrique avec faisceau vertical

Four cabine avec faisceau horizontal

Les fours sont usuellement composés de 2 parties distinctes :

- La radiation, où les tubes sont directement exposés à la flamme. Il s'agit de la zone la plus chaude du four. Le transfert thermique se fait essentiellement par radiation.
- La convection, qui est située en partie supérieure et où les tubes ne sont pas soumis au rayonnement direct de la flamme, à l'exception des rangées inférieures. Dans cette zone le transfert thermique s'effectue majoritairement par convection entre les tubes et les fumées.

Les faisceaux sont constitués de tubes reliés par des coudes, des pièces en Y, des boîtes de retour, des collecteurs et des brides.

Dans la zone de radiation, le faisceau est usuellement constitué de tubes lisses.

Dans la zone de convection, plusieurs faisceaux contenant différents fluides peuvent être superposés pour optimiser la récupération de chaleur, par exemple un faisceau procédé, puis un faisceau vapeur et enfin un faisceau économiseur. Les premières rangées de tubes, qui sont soumises au flux thermique le plus intense sont le plus souvent constituées de tubes lisses. Les tubes supérieurs peuvent être studdés ou ailetés pour accroître la surface d'échange et améliorer le transfert thermique.

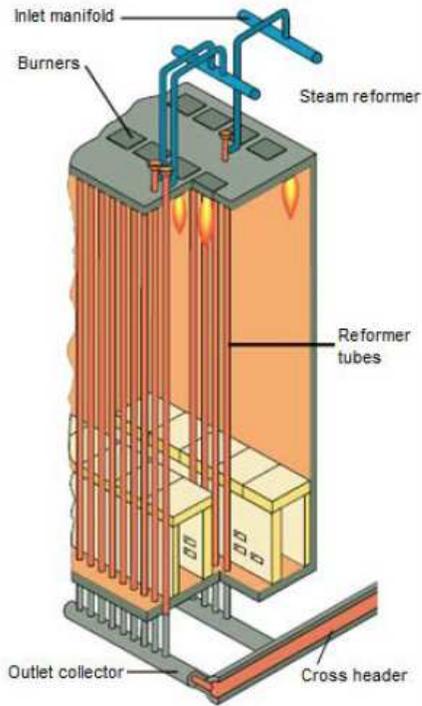


Tubes à ailettes

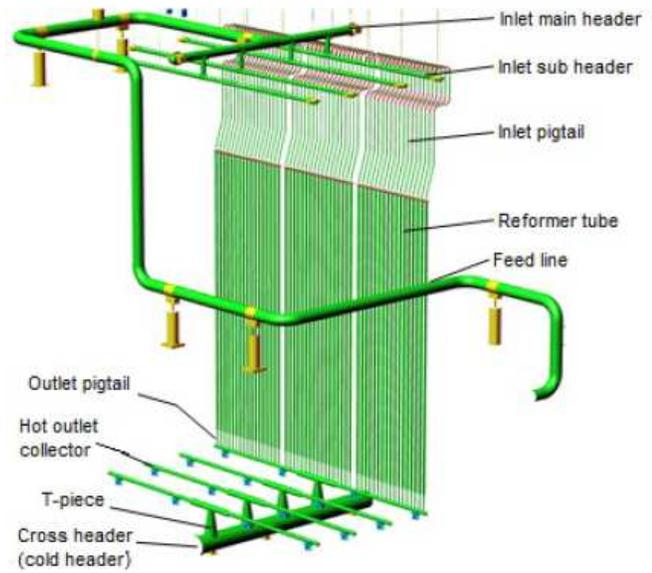


Tubes studdés

B. Exemples de fours de reformage pour la production d'hydrogène



Four de reformage avec collecteur froid



Four de reformage avec collecteur chaud

ANNEXE 3 – Exemples de plan d’inspection

Le plan d’inspection de l’équipement suivant ce CTP doit comporter les informations listées dans la première colonne du tableau 1 ci-dessous. La seconde colonne indique comment remplir ces rubriques et selon les items, renvoie vers 3 exemples de plan d’inspection de fours d’unité différente.

Nota Bene : les 3 exemples ci-après ne constituent que des aides à la rédaction des PI mais ne sont pas suffisants pour constituer un PI si l'ensemble des informations du tableau 1 n'y figure pas.

TABLEAU 1 - Informations constituant le plan d’inspection	
Famille d’équipements concernée	Four
Référence du CTP dont l’indice de révision	CTP pour l’inspection des fours sous pression de gaz ou de vapeur – Révision 1 de juillet 2019
Caractéristiques de la famille d’équipements couverte par le CTP	S’assurer de bien rentrer dans les critères du paragraphe 1 du présent CTP
Références réglementaires particulières applicables à l’équipement	Récipient existant construit selon les directives européennes existantes ou selon des réglementations françaises antérieures au marquage CE ou néo-soumis et soumis au suivi en service selon l’AM du 20/11/2017. Equipement neuf assujetti à la directive 2014/68/UE et à l’AM du 20/11/2017.
Caractéristiques de construction de l’équipement	Désignation du fluide ; Groupe de fluide ; Catégorie de risque ; Code de construction Pression de calcul PS en barg ; Température de calcul TS en °C ; Volume ; Pression d’épreuve initiale
Caractéristiques d’utilisation de l’équipement	Pression et température opératoire
Modes de dégradation susceptibles d’affecter l’équipement	Sélection à faire suivant annexe 1. Voir les 3 exemples (indicatifs et non exhaustifs)
Localisation des zones sensibles pour chaque mode de dégradation identifié	Voir les 3 exemples (indicatifs et non exhaustifs)
Conditions de préparation de l’équipement	Voir les 3 exemples (indicatifs et non exhaustifs).

<p>Actions de surveillance à réaliser sur l'équipement en service et/ou à l'arrêt (ou en chômage) ainsi que celles qui seraient associées à des modes de dégradation ou des défauts propres à l'équipement</p>	<p>Voir les 3 exemples (indicatifs et non exhaustifs)</p> <p>Concernant le chômage, les dispositions du point III de l'article 4 de l'Arrêté ministériel du 20 novembre 2017 doivent être mises en application et tracées dans le dossier d'exploitation.</p>
<p>COCL</p>	<p>Seuils associés</p>

Exemple 1 - PI de four de vapocraqueur

Fluide : naphta + vapeur ; Groupe de fluide : gaz groupe 1 ; Catégorie de risque : IV ; Code de construction : SNCT ; Année de construction : 1971.

Pression de calcul PS= 4 barg pour la radiation et 7 bar pour la convection ; Pression de service = 1 barg pour la radiation et 5,5 barg pour la convection ; Pression d'épreuve PE d'origine = 100 barg ;

Température de calcul TS= 1120 °C pour la radiation et 735°C pour la convection ; Température de service = 1050°C pour la radiation et 650°C pour la convection ;

Critères d'acceptation : CODAP révision en vigueur pour les contrôles ressuage et épaisseur mini de calcul des tubes pour les contrôles d'épaisseur.

Partie concernée et métallurgie	Modes de dégradation potentiels retenus	Contrôles à réaliser et périodicité
Première convection en 304H, jumpovers en 321H, seconde convection en 321H	Corrosion externe à haute température ; Corrosion interne pour la nappe inférieure de la seconde convection en 321H ; fluage pour la seconde convection	Lors des IP et RP : Ouverture de trappes au niveau des jumpovers pour accès et contrôle visuel. Accès à la nappe inférieure de la seconde convection pour visuel. Accès aux entrées de tubes de première convection pour visuel. Accès demandé aux 4 tubes inférieurs de la 2ème convection pour balayage US sur la génératrice inférieure de toute la longueur des tubes Examen visuel pour recherche de déformation sur les tubes de seconde convection accessibles Visuel des accessoires sous pression repère T5601 à T5608 sur les jumpovers.
Tubes de radiation en ANK400, gaines de température en inox, crossovers en ANK400	Carburation ; Fluage ; Fatigue thermique sur crossovers	Lors des IP et RP : remplacement préventif des 6 tubes en partie basse de la radiation Accès pour contrôle visuel de tous les tubes de radiation (ovalisations, boursoufflures, déformations) Etat de l'ensemble du supportage et des points fixes soudés sur les crossovers Ressuage des soudures des points fixes. Visuel des accessoires sous pression repère T5609 à T5615 sur la radiation. Contrôle en service : visuel des tubes de radiation par les trappes de visite en marche
Bride sortie four en ANK400 et ses tacquets, gaine de température en inox	Fatigue thermique ; Stress Relaxation Cracking	Lors de chaque arrêt pour décokage du four : après dépose de la tuyauterie attenante à la bride sortie four, accès pour contrôle ressuage interne et externe de la soudure de la bride sortie four et ressuage externe des tacquets et de la soudure de la gaine de température. Visuel de l'accessoires sous pression repère T5616 sur la bride sortie four.
Tout le four		Lors des IP et RP : Vérification de la soupape SV106

Exemple 2 - PI de four vapeur d'unité styrène

Dispositions à spécifier dans le PI	
Famille d'équipements concernée	Four H101 sous pression de vapeur ayant une $P_s \leq 10$ bar et une $T_s \geq 700^\circ$
Références réglementaires particulières applicables à l'équipement	Equipement soumis à l'AM du 20/11/2017.
Caractéristiques de construction de l'équipement	<p><u>Radiation</u> (surchauffeur de vapeur principale) :</p> <p>Désignation du fluide : Vapeur Groupe de fluide : Groupe 2 Pression maximale admissible PS : 4.5b Pression de service : 1b Température maximale admissible TS : 1020 °C Température de service : 805°C Code de construction : ASME VIII</p> <p><u>Haut Convection</u> (surchauffeur de vapeur principale) :</p> <p>Désignation du fluide : Vapeur Groupe de fluide : Groupe 2 Pression maximale admissible PS : 3.7b Pression de service : 1.47b Température maximale admissible TS : 1020 °C Température de service : 805°C Code de construction : ASME VIII</p>
Modes de dégradation susceptibles d'affecter l'équipement	<p><u>Paroi interne du récipient</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erosion interne <p><u>Paroi externe du récipient</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fluage et déformation liée au supportage • Dégradations liées à des facteurs métallurgiques • Usure
Localisation des zones sensibles pour chaque mode de dégradation identifié	<p><u>Erosion interne</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tous changements de direction (coudes) <p><u>Fluage</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Examen visuel des tubes • Préférentiellement, composants exposés à la flamme

	<p><u>Dégradation liée à des facteurs métallurgique :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Préférentiellement, composants exposés à la flamme • Zones de déformation <p><u>Usure :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Supports (menottes, corbeaux, colliers, poutres ...) <p><u>Déformation liée au supportage :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Supports bloqués, zones de contraintes.
<p>Conditions de préparation de l'équipement</p>	<p><u>Intérieur four:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Pas d'accès interne intra tubulaire • Ouverture des trappes pour accès au faisceau de radiation au niveau de la sole • Mise en place d'échafaudages suivant visuels et accès aux supports bloqués et aux zones susceptibles d'être en contraintes <p><u>Extérieur four :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Mise en place d'échafaudages suivant visuels pour accès aux boites à coudes et/ou aux trappes latérales de convection • Ouverture du carneau pour accès au surchauffeur de convection
<p>Actions de surveillance à réaliser sur l'équipement en service et/ou à l'arrêt (ou en chômage) ainsi que celles qui seraient associées à des modes de dégradation ou des défauts propres à l'équipement :</p>	<p><u>Inspection périodique au plus tous les 6 ans</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Examen visuel externe des composants • Examen visuel du supportage • Ressuage des zones sous contrainte (soudures) liées au supportage • Examen visuel des plaques tubulaires de la convection • Vérification des accessoires de sécurité selon l'article 22 de l'AM du 20/11/2017 • Réalisation de répliques • Mesure du taux de ferrite • Mesures d'épaisseur sur les 10 % des coudes et extension si nécessaire <p><u>Requalification périodique au plus tous les 12 ans</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Examen visuel externe des composants • Examen visuel du supportage • Ressuage des zones sous contrainte (soudures) liées au supportage • Examen visuel des plaques tubulaires de la convection • Vérification des accessoires de sécurité selon l'article 22 de l'AM du 20/11/2017 • Réalisation de répliques • Mesure du taux de ferrite

- Mesures d'épaisseur sur les 10 % des coudes et extension si nécessaire

Contrôle si mise au chômage

- Contrôle maintien en atmosphère inerte

Exemple 3 - PI de four d'unité Steam Methane Reformer

Fluide : Hydrogène ; Groupe de fluide : gaz groupe 1 ; Catégorie de risque : IV ; Code de construction : AD2000 ; Année de construction : 2004, Matériau : alliage Manaurite.

PS= 28 barg; Pression de service = 24 barg ; TS= 910 °C ; Température de service = 900°C.

Critères d'acceptation : Aucune indication linéaire pour les contrôles ressuage, norme NF EN ISO 5817niv B pour le visuel et endoscopie, recommandations Groupe pour les contrôles de diamètre et CF.

Facteurs de dégradation potentiels : Dégradation liée à des facteurs métallurgiques, Fluage.

Action	Contenu / observation
Inspection externe (triennale au maximum)	<p>Inspection visuelle avec accès aux différents éléments suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Connection des tubes aux pigtails d'entrée • Alignement des tubes et supportage • Pigtail de sortie • Collecteurs de sortie <p>Réalisation des contrôles prévus à l'IP en cas de problème d'intégrité décelé.</p>
Inspection interne (à chaque remplacement de catalyseur)	<p>Idem inspection externe</p> <p>Contrôle interne des tubes par endoscopie</p>
Inspection périodique et Requalification périodique (6 ans / 12 ans maxi)	<p>Inspection visuelle avec accès aux différents éléments suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Connection des tubes aux pigtails d'entrée • Alignement des tubes et supportage • Pigtail de sortie • Collecteurs de sortie <p>Réalisation de contrôle de compacité des tubes par courants de Foucault par robot autonome</p> <p>Contrôle des diamètres des tubes par robot autonome</p> <p>Ressuage de 30% des soudures des weldolets sur les collecteurs (accès et préparation de surface adéquats)</p> <p>Ressuage des soudures hétérogènes collecteurs/ ligne de transfert et ou pigtail sur collecteurs « froid » (accès et préparation de surface adéquats)</p> <p>Vérification du suivi des COCL</p> <p>Vérification des accessoires de sécurité</p>
COCL et suivi en marche (1 fois par mois)	<ul style="list-style-type: none"> • Capteurs TT1111A et B : suivi de la température gaz brut en sortie du four, seuil 830°C. • Suivi des températures de peau des tubes à la caméra thermique par l'exploitant (four en dépression)

ANNEXE 4 – Formulaire de remontée du REX sur le suivi en service des fours

Année concernée :

Société et site(s) : suivi par un SIR suivi par SI

Responsable en charge du REX :

- Nom et Prénom :
- Fonction :
- Adresse mail :

Recensement d'équipements suivis

Nombre de fours suivis selon CTP par type d'unité :

.....

Constats

	Inspections Périodiques	Requalifications Périodiques	Contrôles intermédiaires	Commentaires
Nb de fours inspectés				
NC associées aux accessoires de sécurité				
NC associées aux accessoires sous pression				
NC associées aux parois (manque épaisseur, interne / externe ...)				
NC Règles administratives non-respectées				
Total nbre de Non Conformités				

Modes de dégradation rencontrés non prévus au CTP :

Difficultés rencontrées dans l'application du CTP :

Nota bene : Cette annexe est donnée à titre d'exemple et pourra être amenée à évoluer en fonction des évolutions demandées par l'autorité administrative compétente ou l'OBAP sans que cela entraîne une révision du CTP.