

# Cahier des charges

Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001

Indice : 2

Page : 1/48

## Etude et réalisation d'un dispositif d'essais Projet FEAT – Dispositif Accident Grave

|               | Rédacteur(s)                           | Vérificateur(s)                        | Référent Qualité | Approbateur | Acceptation CP<br>ou Client |
|---------------|----------------------------------------|----------------------------------------|------------------|-------------|-----------------------------|
| Nom           | G. BOIOLI<br>T. ORLANDINI<br>F. BONNET | L. CARENINI<br>M. KPEMOU<br>J-C. PRELE | C. DONQUE-GOMEZ  | E. MAGLICA  |                             |
| Date/<br>Visa |                                        |                                        |                  |             |                             |

|                                      |                                                                                                        |             |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais</b><br><b>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | Page : 2/48 |
| Indice : 2                           |                                                                                                        |             |

**Direction de la recherche en sûreté**  
**Service de l'Ingénierie et des Projets de Recherche**  
*B.P. 3, 13115 Saint-Paul-Lez-Durance Cedex*

## HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

| Ind. | Date  | Chapitre | Nature des modifications | Rédacteur                              | Vérificateur                           | Référent qualité | Approbateur |
|------|-------|----------|--------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|------------------|-------------|
| 0    | 05/25 | Tous     | Création du document     | G. BOIOLI<br>T. ORLANDINI<br>F. BONNET | L. CARENINI<br>M. KPEMOU<br>J-C. PRELE | C. DONQUE GOMEZ  | E. MAGLICA  |
| 1    | 10/25 | Tous     | Emission du document     | G. BOIOLI<br>T. ORLANDINI<br>F. BONNET | L. CARENINI<br>M. KPEMOU<br>J-C. PRELE | C. DONQUE GOMEZ  | E. MAGLICA  |
| 2    | 05/26 | Tous     | Modification du document | G. BOIOLI<br>T. ORLANDINI<br>F. BONNET | L. CARENINI<br>M. KPEMOU<br>J-C. PRELE | C. DONQUE GOMEZ  | E. MAGLICA  |
| 3    |       |          |                          |                                        |                                        |                  |             |
| 4    |       |          |                          |                                        |                                        |                  |             |
| 5    |       |          |                          |                                        |                                        |                  |             |

# TABLE DES MATIÈRES

|          |                                                                           |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>OBJET .....</b>                                                        | <b>6</b>  |
| 1.1      | Contexte de la prestation.....                                            | 6         |
| 1.2      | Contenu de la prestation.....                                             | 6         |
| 1.3      | Délais de réalisation et planification.....                               | 7         |
| <b>2</b> | <b>DOCUMENTS APPLICABLES .....</b>                                        | <b>8</b>  |
| 2.1      | Liste des documents méthodologiques et réglementaires applicables .....   | 8         |
| 2.1.1    | Référentiels achat et qualité.....                                        | 8         |
| 2.1.2    | Documents techniques .....                                                | 8         |
| 2.1.3    | Normes et réglementations applicables.....                                | 8         |
| <b>3</b> | <b>EXIGENCES QUALITE .....</b>                                            | <b>9</b>  |
| <b>4</b> | <b>DESCRIPTION TECHNIQUES DES PRESTATIONS A REALISER.....</b>             | <b>10</b> |
| 4.1      | Fonctionnalités et performances attendues.....                            | 10        |
| 4.2      | Architecture structurelle du dispositif .....                             | 11        |
| 4.3      | Conditions et contraintes expérimentales attendues .....                  | 12        |
| 4.4      | Description des principaux composants du dispositif .....                 | 13        |
| 4.4.1    | Système de chauffe.....                                                   | 15        |
| 4.4.2    | Composants de confinement (conformes à la directive DESP 2014/68/EU)..... | 16        |
| 4.4.3    | Composants internes à la chambre de chauffe .....                         | 17        |
| 4.4.4    | Instrumentation thermique de la gaine ATF.....                            | 18        |
| 4.4.5    | Instrumentation de visualisation de la dégradation de la gaine ATF .....  | 18        |
| 4.4.6    | Contraintes spécifiques aux mesures expérimentales : .....                | 18        |
| 4.4.7    | Instrumentation d'analyse de la masse d'hydrogène gazeux .....            | 19        |
| 4.4.8    | Circuits fluides.....                                                     | 19        |
| 4.4.9    | Contrôle commande électrique .....                                        | 21        |
| 4.5      | Poste 1.1 : Etudes du dispositif.....                                     | 32        |
| 4.6      | Poste 1.2 : Réalisation du dispositif .....                               | 34        |
| 4.7      | Poste 1.3 : Essais de recette usine .....                                 | 35        |
| 4.8      | Poste 2 : Montage et recette site ASNR .....                              | 37        |
| 4.8.1    | Essais de recette site.....                                               | 37        |
| 4.8.2    | Contraintes site - Localisation.....                                      | 38        |
| 4.9      | Poste 3 : Travaux ponctuels sur marchés subséquents .....                 | 38        |
| <b>5</b> | <b>DESCRIPTION DES FOURNITURES ET LIVRABLES.....</b>                      | <b>39</b> |
| 5.1      | Livraison.....                                                            | 39        |
| 5.2      | Fournitures ASNR .....                                                    | 39        |

|                                      |                                                                                                  |                    |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 4/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                    |

|            |                                                                      |           |
|------------|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>5.3</b> | <b>Fournitures à la charge du Titulaire .....</b>                    | <b>39</b> |
| 5.3.1      | Documents à remettre par le Titulaire avant fabrication.....         | 39        |
| 5.3.2      | Documents techniques à remettre en fin de réalisation.....           | 40        |
| <b>6</b>   | <b>RECEPTION .....</b>                                               | <b>40</b> |
| <b>7</b>   | <b>ORGANISATION .....</b>                                            | <b>40</b> |
| 7.1        | Organisation du suivi à l'ASNR .....                                 | 40        |
| 7.2        | Organisation du Titulaire .....                                      | 40        |
| <b>8</b>   | <b>CONDITIONS D'INTERVENTION SUR SITE .....</b>                      | <b>41</b> |
| <b>9</b>   | <b>ANNEXE(S).....</b>                                                | <b>44</b> |
| 9.1        | Annexe 1 : Récapitulatif des documents du dossier constructeur ..... | 44        |
| 9.2        | Annexe 2 : Déroulé d'un essai type.....                              | 46        |
| 9.3        | Annexe 3 : schéma d'architecture contrôle-commande.....              | 48        |

## **LISTE DES FIGURES**

|                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| Figure 1 : Schéma de principe du dispositif d'essai.....          | 11        |
| Figure 2 : Cycle d'oxydation des gaines .....                     | 12        |
| <i>Figure 3 : Exemple de configuration automate .....</i>         | <i>25</i> |
| <i>Figure 4 : Modules d'interface et câble système WAGO .....</i> | <i>25</i> |
| <i>Figure 5 : Réseau de communication .....</i>                   | <i>28</i> |
| <i>Figure 6 : Architecture acquisition de mesure .....</i>        | <i>31</i> |
| Figure 7: Schéma de principe fonctionnement caméras .....         | 32        |
| Figure 8 : Essai type - Cycle d'oxydation des gaines.....         | 46        |

## **LISTE DES TABLEAUX**

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1 : Conditions de fonctionnement et de fabrication du dispositif ..... | 13 |
| Tableau 2 : Entrées Analogiques .....                                          | 24 |
| Tableau 3 : Sorties Analogiques .....                                          | 24 |
| Tableau 4 : Entrées Tout Ou Rien .....                                         | 24 |
| Tableau 5 : Sorties Tout Ou Rien .....                                         | 25 |
| Tableau 6 : Fonctions de sécurité traitées par l'API.....                      | 27 |
| Tableau 7 : Livrables études.....                                              | 33 |

|                                      |                                                                                                  |                    |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 5/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                    |

## GLOSSAIRE

AG : Accident Grave

AM : Arrêté Ministériel

AP : Arrêt Procédé

API : Automate Programmable Industriel

APD : Avant-Projet Détaillé

APS : Avant-Projet Sommaire

ASNR : Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection

ATF : Accident Tolerant Fuel

AU : Arrêt d'Urgence

BPA : Bon Pour Accord

BPE : Bon Pour Examen

CR : Compte Rendu

DESP : Directive des Equipements Sous Pression

ESP : Equipement Sous Pression

FEAT: Furnace for Experimentation on ATF's cladding at high Temperature

GV : Générateur de Vapeur

HF : Haute Fréquence

IHM : Interface Homme Machine

LR2E : Laboratoire de Réalisation d'Equipements Expérimentaux

LE2M : Laboratoire d'Expérimentation en Mécanique et Matériaux

PDP : Plan de prévention

PMQP : Plan de Management Qualité Particulier

PSN : Pôle Sûreté Nucléaire

PV : Procès-Verbal

RES : Recherche en Sûreté

SEREX : Service d'Etude et de Recherches EXpérimentales

SIPR : Service de l'Ingénierie et des Projets de Recherche

TC : Thermocouple

TQC : Tel Que Construit

|                                      |                                                                                                  |                    |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 6/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                    |

# 1 OBJET

## 1.1 Contexte de la prestation

La demande se fait dans le cadre de l'étude des différents critères de perte d'intégrité des gaines de combustible nucléaire et des relocalisations de matériaux associées.

L'ASNR a pour objectif de développer ses connaissances sur le comportement des gaines de combustible nucléaire en conditions d'accident grave, notamment les gaines ATF revêtues de chrome, avec comme objectif final d'adapter les outils de simulation aux nouvelles gaines.

Dans cette optique, l'ASNR souhaite se doter de ses propres capacités expérimentales afin d'étudier les différents critères de perte d'intégrité des gaines ATF revêtues de chrome, bien au-delà de la température de l'eutectique Zr-Cr (~1340°C), ce qu'aucun projet international ne propose à l'heure actuelle.

Les besoins expérimentaux associés sont de disposer d'un four, baptisé FEAT (Furnace for Experimental Analysis of materials at high Temperature), qui permet d'atteindre une température élevée (autour de 2100°C), dans lequel un tronçon de gaine métallique est soumis à un débit de vapeur. Il est demandé de pouvoir piloter en température le four avec des rampes thermiques afin d'étudier avec précision l'oxydation de la gaine. La rupture de l'oxyde formé en face externe de la gaine, doit pouvoir être détectée afin de caractériser les conditions dans lesquelles elle se produit. La cinétique d'oxydation de la gaine doit être suivie par la mesure de la production d'hydrogène au cours du temps.

Le présent cahier des charges a pour objectif de formaliser le besoin associé.

## 1.2 Contenu de la prestation

La présente spécification a pour objet de définir les conditions d'étude, de fabrication, de contrôle et de recette auxquelles doit se soumettre le Titulaire pour réaliser le dispositif FEAT.

Le périmètre du marché comprend :

- L'étude et la fabrication d'un dispositif d'essais (four) y compris les essais de recette en usine (**poste 1**).
- Le montage et les essais de recette sur le site de l'ASNR (**poste 2**).

Les postes sont les suivants :

**Tranche ferme :**

- Poste 1 :** Etude, fabrication et recette usine d'un dispositif d'essais
- Poste 2 :** Montage et recette site dans les locaux de l'ASNR
- Poste 3 :** Part provisionnelle pour aléas

La description de chaque poste est détaillée dans les chapitres ci-après.

### 1.3 Délais de réalisation et planification

Dès la notification du marché, une réunion d'enclenchement est organisée chez le Titulaire du marché ou à distance par visioconférence.

Cette réunion constitue le T0 dans le plan prévisionnel du marché. Elle se déroule en présence des chargés d'affaire, des responsables qualité de l'ASNR et du Titulaire du marché.

Son objectif est de passer en revue l'ensemble des points techniques ou relevant de la qualité posant question avant de passer à la réalisation de l'affaire.

Le compte-rendu de cette réunion est établi par l'ASNR et contresigné par le Titulaire.

Le phasage souhaité pour la planification du marché est le suivant :

|                                                                               |            |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------|
| ▪ Réunion d'enclenchement                                                     | T0         |
| ▪ <b>Phase 1</b> (poste 1) : <b>Etudes avant-projet sommaire</b>              | T0 + X Sem |
| ▪ Validation par l'ASNR                                                       | T1         |
| ▪ <b>Phase 2</b> (poste 1) : <b>Etudes avant-projet détaillé</b>              | T1 + X Sem |
| ▪ Validation par l'ASNR                                                       | T2         |
| ▪ <b>Phase 3</b> (poste 1) : <b>Approvisionnement matière et équipement</b>   | T2 + X Sem |
| ▪ Validation par l'ASNR                                                       | T3         |
| ▪ <b>Phase 4</b> (poste 1) : <b>Fabrication</b>                               | T3+ X Sem  |
| ▪ Validation par l'ASNR                                                       | T4         |
| ▪ <b>Phase 5</b> (poste 1) : <b>Recette usine</b>                             | T4 + X Sem |
| ▪ Validation par l'ASNR et livraison des fournitures                          | T5         |
| ▪ <b>Phase 6</b> (poste 2): <b>Montage, raccordement et recette site ASNR</b> | T5 + X Sem |
| ▪ Livraison dossier constructeur                                              | T6         |

Le délai de livraison souhaité pour cet équipement est au plus tard fin 2027.

Le Titulaire devra intégrer dans son planning un délai d'acceptation des livrables de 3 semaines (2 semaines pour inspection des documents par l'ASNR et 1 semaine pour l'intégration des remarques par le Titulaire).

Les points d'arrêts et de convocations seront définis après remise à l'ASNR du plan qualité / Liste des Opérations de Fabrication et de Contrôles.

|                                      |                                                                                                  |                    |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 8/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                    |

## 2 DOCUMENTS APPLICABLES

### 2.1 Liste des documents méthodologiques et réglementaires applicables

#### 2.1.1 Référentiels achat et qualité

Ces prestations seront réalisées conformément au référentiel achat et qualité :

- Procédure de gestion aux interfaces ASNR – Titulaire (PSN-SIPR-PRO-031) ;
- Guide de constitution d'un dossier constructeur (PSN-SIPR-GUI-036).

Ces procédures et guides sont à appliquer à l'indice en vigueur au moment de l'enclenchement de l'affaire. Ils peuvent être transmis par l'ASNR sur simple demande.

#### 2.1.2 Documents techniques

Le Titulaire doit également se conformer aux documents techniques applicables suivants dans le cadre de ce marché :

- [1] FEA.2E.0000.DE.24007-001 Ind 0 – schéma procédé ;
- [2] FEA.2E.0000.DE.24007-010 – plan échantillon.
- [3] FEA.2E.0000.DE.24007-100 Ind 0 – plan guide
- [4] Spécifications OPTRIS -- Documentations techniques du constructeur

#### 2.1.3 Normes et réglementations applicables

Ces prestations seront réalisées a minima suivant les documents techniques suivants :

- Les prescriptions de sécurité du centre de Cadarache ;
- Directive des Equipements Sous Pression DESP 2014/68/UE ;
- Arrêté Ministériel du 20/11/2017 relatif au suivi en service des équipements sous pression et des récipients à pression simples ;
- AQUAP 99/13 v8 – Guide de classification des interventions sur les Equipements Sous Pression ;
- AFNOR NFX 35-109 pour les manutentions manuelles ;
- Code de construction des appareils à pression non soumis à l'action de la flamme : CODAP dernière version en vigueur ;
- NF EN 10204 – Conformité d'un produit métallique (CCPU)
- NF EN ISO 9001 V2015 - Systèmes de management de la qualité – Exigences ;
- Norme NF 15-100 - Installations électriques à basse tension ;
- NF C18-510 - Opérations sur les ouvrages et installations électriques et dans un environnement électrique - Prévention du risque électrique ;
- ISO 20485 :2017 - Essais non destructifs — Contrôle d'étanchéité — Méthode par gaz traceur (dont l'hélium) ;
- Directive 2014/34/UE : appareils et systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosibles (risque hydrogène) ;
- Directive machine 2006/42/CE ;

La présente liste est non exhaustive. Le Titulaire se doit de respecter la réglementation française et européenne en vigueur.

Il peut également proposer à l'ASNR de remplacer certaines normes énoncées dans la liste.

|                                      |                                                                                                  |                    |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 9/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                    |

### 3 EXIGENCES QUALITE

Ces prestations seront à réaliser dans le cadre de l'application du système de management qualité de l'ASNR.

Le Titulaire devra lui-même être certifié ISO 9001 ou pouvoir justifier d'un système qualité respectant les exigences de la norme. Il appliquera les documents du référentiel de l'ASNR.

Le Titulaire du marché devra fournir lors de la réunion d'enclenchement un Plan de Management Qualité Particulier (PMQP) et un Plan Qualité / LOFC.

Tout écart par rapport aux exigences spécifiées précédemment doit être signalé à l'ASNR et fait l'objet d'une demande (d'acceptation en l'état, de dérogation, actions curatives...) qui devra contenir tous les éléments nécessaires pour juger de la recevabilité et de la validité des solutions proposées. Chaque demande doit être acceptée par l'ASNR avant la mise en œuvre d'actions. De ce fait une telle demande constitue un point d'arrêt qui sera tracé dans le plan qualité.

La langue utilisée pour la prestation et pour les livrables (documents) est le français.

Plusieurs Procès-Verbaux (PV) sont fournis en cours de fabrication. Sur ces PV, doivent impérativement apparaître les moyens de mesure utilisés, accompagnés des certificats d'étalonnage correspondants. En ce qui concerne les PV de contrôle dimensionnel, les relevés doivent figurer, ainsi que les cotes théoriques et les tolérances.

**NOTA : Toutes les exigences et analyses réglementaires indiquées dans ce document (ex : Equipements sous pression, etc.) doivent être vérifiées par le Titulaire. L'ASNR ne peut être tenu responsable en cas de mauvaise interprétation et/ou retranscription des différentes réglementations dans ce cahier des charges.**

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 10/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

## 4 DESCRIPTION TECHNIQUES DES PRESTATIONS A REALISER

Une description fonctionnelle des équipements est présentée dans ce paragraphe. Il s'agit des exigences minimales.

### 4.1 Fonctionnalités et performances attendues

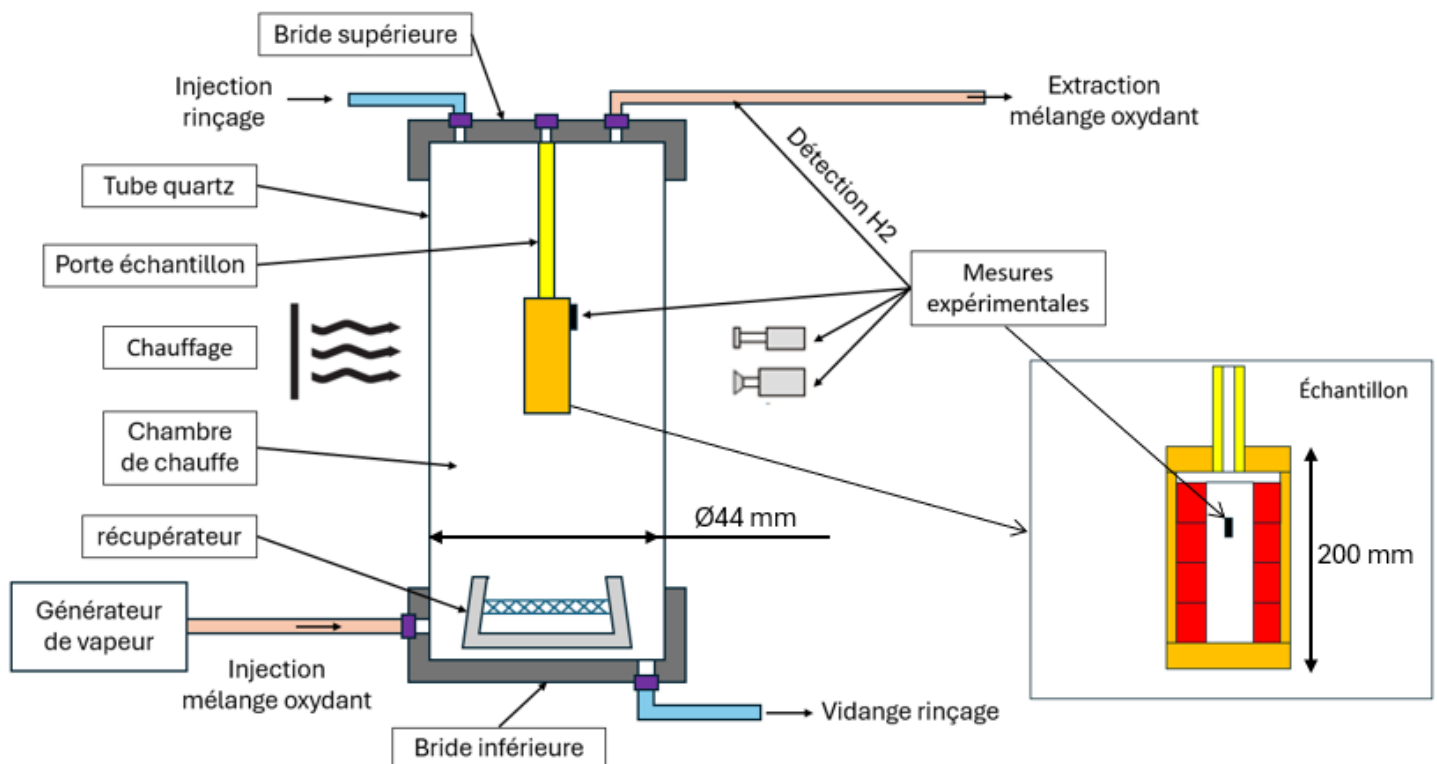
Le dispositif doit respecter les fonctions principales et fonctions contraintes suivantes :

- FP1 – Piloter le chauffage d'un échantillon de gaine de 200 mm sur une zone utile d'une longueur minimale de 100 mm jusqu'à fusion (température maximale 2100°C) en suivant un cycle thermique défini préalablement ;
- FP2 – Oxyder un échantillon de gaine métallique en maîtrisant l'atmosphère ou le mélange oxydant ;
- FP3 – Mesurer en temps réel l'évolution de la température à la surface externe de l'échantillon (caméras IR, pyromètres et thermocouples) ;
- FP4 – Mesurer en temps réel l'évolution de la température de l'atmosphère à l'intérieur de l'échantillon (thermocouple) ;
- FP5 – Mesurer et enregistrer en temps réel l'évolution de la masse d'hydrogène gazeux en sortie de la chambre de chauffe (hors prestation : à la charge de l'ASNR) ;
- FP6 – Capturer en temps réel des images de la gaine (zone utile de 100mm) pour permettre de détecter un point de fusion de la gaine (caméras IR) ;
- FP7 – Permettre le rinçage de la chambre de chauffe après l'arrêt d'un essai ;
- FP8 – Assurer le pilotage du dispositif par le contrôle-commande et en garantir la sécurité via le procédé ;
- FP9 – Garantir l'acquisition des mesures expérimentales (hors mesure de la masse d'hydrogène issue du spectromètre) ;
- FC1 – Assurer une homogénéité de température sur la zone utile (100mm) ;
- FC2 – Confiner le milieu oxydant autour de l'échantillon ;
- FC3 – Maintenir l'échantillon au centre de la chambre de chauffe durant un essai ;
- FC4 – Permettre le remplacement de l'échantillon et du porte échantillon ;
- FC5 – Garantir une pression interne d'échantillon identique à sa pression externe ;
- FC6 – Récupérer les fragments de coulure de la gaine ;
- FC7 – Ne pas entraver la circulation du mélange oxydant autour de la gaine ;
- FC8 – Permettre et faciliter le démontage ainsi que le rinçage de la chambre de chauffe après l'arrêt d'un essai ;
- FC9 – Assurer la récupération de l'eau de rinçage ;

- FC10 – Assurer l'interface (mécanique, étanchéité) entre les brides et la chambre de chauffe ;
- FC11 – Assurer les interfaces (mécanique, étanchéité) entre les brides et les injections / extractions fluides et gaz ;
- FC12 – Intégrer dans la conception du dispositif les contraintes liées à une intégration in situ sous une enceinte aspirante de type sorbonne ;
- FC13 – Être conforme aux règles de sécurité et à la réglementation (Directive des équipements sous pression DESP2014/68/EU, Directive machine 2006/42/CE ; protections électriques, protections thermiques etc.).
- FC14 – Privilégier, dans la mesure du possible et dans l'objectif de limiter l'impact environnemental, des équipements et des pièces standards afin de faciliter leur réparabilité et leur remplacement.

## 4.2 Architecture structurale du dispositif

Le schéma de principe du dispositif d'essai est présenté ci-dessous :

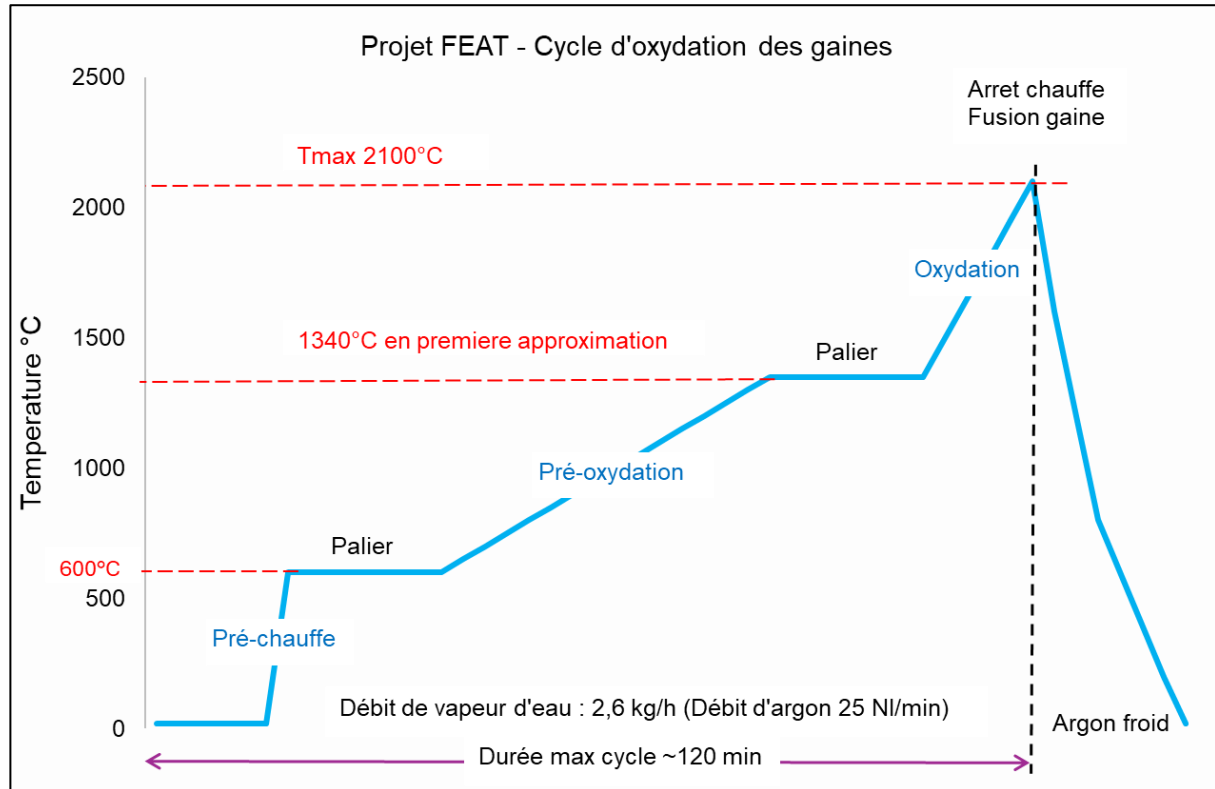


**Figure 1 : Schéma de principe du dispositif d'essai**

Nota : à titre d'information, les essais réalisés avec des gaines ATF présentent un risque de dégagement de chrome VI et d'hydrogène. Afin de réduire ces risques, dans les locaux de l'ASNR, une partie du dispositif (notamment la chambre de chauffe) sera installée sous une enceinte aspirante de type sorbonne (hors prestation).

### 4.3 Conditions et contraintes expérimentales attendues

Le four devra permettre un pilotage en température avec programmation de rampes thermiques, de manière à assurer une maîtrise précise des conditions d'oxydation de la gaine durant la totalité de l'essai.



**Figure 2 : Cycle d'oxydation des gaines**

Les conditions de fonctionnement et de fabrication du dispositif sont les suivantes :

|                                                                           |                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fluide (gaz groupe 1) :                                                   | Entrée : mélange de vapeur d'eau surchauffée et d'argon<br>Sortie : vapeur d'eau surchauffée / argon / hydrogène / chrome VI / etc. |
| Débit mélange oxydant                                                     | 1.3 kg/h à 3 kg/h de vapeur d'eau surchauffée et 0.2NL/min à 50NL/min d'argon                                                       |
| Pilotage paramétrable du chauffage de la gaine                            | 20°C à 2100°C suivant les rampes de température décrites dans le cycle d'oxydation de la Figure 2                                   |
| Suivi de la cinétique thermique d'oxydation jusqu'à la fusion de la gaine | Mesure du gradient de température de la gaine pendant un cycle d'oxydation jusqu'à la fusion                                        |
| Détection visuelle de la perte d'intégrité de la gaine                    | Prise de vues de la surface de la gaine pendant un cycle d'oxydation jusqu'à sa fusion                                              |
| Température injection mélange oxydant en sortie du GV                     | De 130°C à 180°C                                                                                                                    |
| Température des brides                                                    | Mini : 130°C pour éviter la condensation                                                                                            |

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 13/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

|                                                                |                                                                                             |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pression maximum admissible (PS)<br>(conditions accidentelles) | 2 bar relatif à l'intérieur de la chambre de chauffe                                        |
| Pression nominale de fonctionnement                            | 0.4 bar relatif à l'intérieur de la chambre de chauffe                                      |
| Température ambiante (local)                                   | +5°C /+40°C                                                                                 |
| Règlementation ESP                                             | Récipient (chambre de chauffe) Cat 4.3 -<br>DESP2014/68/EU<br>(À vérifier par le Titulaire) |

**Tableau 1 : Conditions de fonctionnement et de fabrication du dispositif**

L'instrumentation thermique du four permet un suivi continu de la température de la gaine, aussi bien en surface qu'au cœur. Le système de supervision, connecté à l'ensemble des mesures expérimentales, assure le pilotage de la chauffe à partir de ces mesures.

Plusieurs types de mesures sont déployées pour assurer le suivi au cours du cycle d'oxydation.

Les caméras IR mesurent les différences de température à la surface de la gaine sur une zone utile de 100mm, elles visualisent également la surface de la gaine au cours du cycle d'oxydation (jusqu'à fusion de la gaine).

Les pyromètres bichromatiques et les thermocouples externes mesurent ponctuellement la température à la surface de la gaine (au centre de la zone utile de 100 mm).

Le thermocouple interne mesure la température des gaz au cœur de la gaine (au centre des pastilles en alumine). L'intégration devra garantir la tenue mécanique du montage (notamment lors de l'installation du thermocouple dans la gaine).

## 4.4 Description des principaux composants du dispositif

Ce chapitre décrit les principaux composants du dispositif (avec en italique les composants fournis par ASNR).

### 1. Système de chauffage par induction

- Inducteur magnétique – Qté : 1
- Générateur hautes fréquences (alimentation de l'inducteur) – Qté : 1

### 2. Composants de confinement (conformes à la directive DESP 2014/68/EU)

- Tube en quartz – Qté : 1 + 1 en supplément
- Bride supérieure – Qté : 1
- Bride inférieure – Qté : 1

### 3. Composants internes à la chambre de chauffe

- *Echantillon de gaine à chauffer – Qté : 8 (fournis par l'ASNR)*
- Pastilles de céramique creuse (simulant du combustible nucléaire) insérées à l'intérieur de l'échantillon de gaine

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 14/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

- Porte-échantillon – Qté : 1 + 1 en supplément
- Récupérateur de débris gaine (grille) – Qté : 1

#### 4. Instrumentation thermique de la gaine ATF

- *Caméras thermiques infrarouges OPTRIS PMI05 – Qté : 3 (équipements fournis par l'ASNR)*
- *Pyromètres bichromatiques infrarouges OPTRIS CTratio 2M – Qté : 3 (équipement fournis par l'ASNR)*
- Thermocouple type C rigide gainé (Tc interne inséré au centre de la gaine) – Qté : 1 + 2 en supplément
- Thermocouple type B rigide gainé (Tc interne inséré au centre de la gaine) – Qté : 1 + 1 en supplément
- Thermocouple type C (nu, emperlé, à ligaturer en surface de la gaine) – Qté : 1 + 5 en supplément
- Thermocouple type B nu (emperlé à ligaturer en surface de la gaine) – Qté : 1 + 5 en supplément

#### Instrumentation de visualisation de la dégradation de la gaine

- *Caméras thermiques infrarouges OPTRIS PMI05 – Qté : 3 (équipements fournis par l'ASNR)*

Les caméras thermiques infrarouges OPTRIS PMI05 font double usage. Elles sont utilisées pour mesurer la température (de la gaine) et pour visualiser une déformation (mélange eutectique et effet « peau de crocodile » associé en surface) et une perte d'intégrité par fusion de la gaine.

#### 6. Instrumentation d'analyse de l'évolution de la concentration d'hydrogène gazeux

- *Spectromètre de masse – Qté : 1 (équipement fournis par l'ASNR)*

#### 7. Circuits fluide

- Générateur de vapeur – Qté : 1
- Lignes d'injection et d'extraction du mélange oxydant (vapeur d'eau et/ou argon)
- Lignes d'injection et d'extraction d'eau déminéralisée pour le rinçage
- Instrumentation de régulation et de contrôle des fluides (vannes, capteur pression, etc.)

#### 8. Contrôle commande du process et acquisition des mesures

Un schéma d'architecture du contrôle-commande et de l'acquisition des mesures de l'installation FEAT est proposé en annexe 3 du document.

Le système de contrôle commande et d'acquisition des mesures se compose principalement :

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 15/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

- D'un PC de supervision (système central de pilotage) qui permet de surveiller, de conduire et de contrôler l'ensemble du dispositif expérimental à partir de vues synoptiques développées sous LabVIEW par l'ASNR (Fourniture ASNR)
- D'un PC caméras qui permet de visualiser la température de la surface de la gaine et de son état de surface
- D'un générateur de vapeur (GV) qui permet l'injection du mélange oxydant
- D'un générateur haute fréquence (HF) qui permet la chauffe de l'inducteur
- D'une armoire de contrôle commande qui permet :
  - D'acquérir l'ensemble des mesures expérimentales (système d'acquisition)
  - De piloter le procédé et de gérer les sécurités à l'aide d'un automate programmable (API)
  - De réguler la température de l'inducteur (via le générateur HF)
  - De réguler les températures des éléments chauffants des brides de la chambre de chauffe et des cordons chauffants du circuit injection/extraction du mélange oxydant
  - D'alimenter en puissance le générateur de vapeur et le générateur HF
- D'un PC spectromètre qui permet d'analyser la masse hydrogène (fourniture ASNR)

Les systèmes sont interconnectés afin de permettre un dialogue continu et permanent en temps réel.

#### 4.4.1 Système de chauffe

La chauffe des échantillons est assurée par un chauffage à induction de type solénoïde, couplé à un générateur de hautes fréquences. Le Titulaire devra concevoir et dimensionner l'ensemble afin de satisfaire aux exigences suivantes :

##### **Exigences de performance :**

- Assurer une zone utile de chauffe homogène de 100mm  $\pm$ 5mm à minima sur les échantillons ;
- Garantir une homogénéité thermique de  $\pm$ 2% dans la zone utile (valeurs pour un échantillon sans pastille interne, en l'absence de vapeur d'eau) ;
- Atteindre une température maximale de 2100°C pour une gaine chargée de pastilles et dans les conditions de débit de mélange oxydant maximal ;
- Respecter les évolutions de température de la Figure 2 pour une gaine chargée de pastilles et dans les conditions de débit de mélange oxydant maximal ;
- Garantir des températures de chauffe à  $\pm$ 5% des valeurs de consignes ;
- Des paliers entre 0 à 15 minutes pourront être réalisés entre les changements de phase.
- Durée maximum d'un essai 2h.

##### **Exigences de conception :**

- Optimiser le solénoïde afin de garantir une visibilité maximale sur la zone utile de la gaine : visualisation de 90%.
- Fournir le diagramme d'impédance du générateur ;
- Le générateur de l'inducteur pourra être installé à l'extérieur de l'enceinte aspirante de type sorbonne, à une distance maximale de 400mm du centre de l'inducteur.

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 16/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

### **Exigences matérielles :**

- Utiliser un générateur de fréquence de marque CELES ou équivalent.
  - Communication Modbus TCP/IP (Pilotage à distance depuis le PC de supervision via le switch réseau de l'armoire de contrôle commande)
  - Bornier interne (pilotage à distance depuis le PC de supervision via l'automate de l'armoire de contrôle commande)

### **Exigences d'instrumentation :**

- Le circuit de refroidissement de l'inducteur devra être instrumenté avec un capteur de débit ainsi qu'un capteur de température en sortie.

## **4.4.2 Composants de confinement (conformes à la directive DESP 2014/68/EU)**

### **Tube en quartz :**

Un tube en quartz entoure la gaine afin de contenir le mélange oxydant tout en permettant sa visualisation directe. Le diamètre intérieur du tube est fixé à 44mm avec une épaisseur de 1.5mm. Sa longueur sera déterminée par le Titulaire lors des études de conception.

### **Bride supérieure :**

La partie supérieure de la chambre de chauffe est fermée par une bride en acier inoxydable. Afin d'éviter tout phénomène de condensation, elle devra être thermostatée à une température minimale de 130 °C.

La bride supérieure assure plusieurs fonctionnalités, l'extraction du mélange oxydant, l'injection du rinçage, le maintien de l'échantillon par l'intermédiaire du porte-échantillon, le passage des mesures par thermocouple. L'interface entre le support du porte-échantillon et la bride doit être démontable, afin de faciliter l'entretien, le remplacement des échantillons etc.

La bride intègre cinq passages étanches : un pour l'extraction du mélange, un pour l'injection du rinçage, et trois pour les thermocouples de mesure (un pour mesurer la température au centre de la gaine et deux autres pour mesurer la température en surface de la gaine).

Le Titulaire devra prévoir une solution au niveau de la bride pour assurer que la pression interne de l'échantillon soit identique à celle de la chambre de chauffe (mise en communication). Cette solution devra toutefois limiter le mélange oxydant en interne échantillon (exemple perçage de 0.5mm).

### **Bride inférieure :**

La partie inférieure de la chambre de chauffe est fermée par une bride en acier inoxydable. Afin d'éviter tout phénomène de condensation, elle devra être thermostatée à une température minimale de 130 °C.

La bride inférieure assure plusieurs fonctionnalités, l'injection du mélange oxydant, l'extraction du rinçage et le récupérateur de débris gaine. La bride intègre deux passages étanches : un pour l'injection du mélange, un pour l'extraction du rinçage.

### **Contraintes mécaniques :**

L'intérieur du dispositif est exposé à un mélange oxydant ainsi qu'à une pression maximale de 2 bar relative.

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 17/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

Le critère d'étanchéité global attendu sur le dispositif est de  $10^{-5}$  Pa·m<sup>3</sup>/s et  $10^{-6}$  Pa·m<sup>3</sup>/s en fuite locale.

Les matériaux et traitements de surface utilisés doivent être compatibles avec ces conditions de fonctionnement, en particulier vis-à-vis de l'oxydation.

Les pièces en acier inoxydable seront en 316L.

#### **4.4.3 Composants internes à la chambre de chauffe**

##### **Échantillon de gaine à chauffer :**

Les échantillons de gaine ne font pas partie du marché. Les plans seront remis au Titulaire lors de la réunion d'enclenchement.

Les différents échantillons nécessaires aux essais de recette seront également fournis au Titulaire (revêtu et non revêtu chrome).

Les échantillons de gaine prévus sont un tube en zirconium avec un diamètre extérieur de  $9,5 \pm 0,1$  mm, une épaisseur de  $0,572 \pm 0,05$  mm et d'une longueur de 200mm.

Pour les échantillons revêtus chrome, une couche de chrome d'une épaisseur comprise entre 10 µm et 20 µm est appliquée sur le diamètre extérieur.

Des pastilles creuses en alumine pourront être insérées à l'intérieur de certains échantillons. Elles seront maintenues en place à l'aide de bouchons fermant les échantillons.

Au cours des essais, les couches d'oxydation peuvent atteindre environ 200 à 300µm.

Pour assurer une liaison démontable avec le porte-échantillon, un taraudage M6 est prévu dans le bouchon supérieur fermant les échantillons.

Le Titulaire s'appuiera sur ces caractéristiques pour la conception et le dimensionnement du dispositif.

##### **Porte-échantillon :**

Le Titulaire devra prévoir un porte-échantillon qui permet de positionner et de maintenir l'échantillon au centre de la chambre de chauffe. Il permet également d'insérer un thermocouple à l'intérieur de l'échantillon.

Les liaisons au niveau de la bride et de l'échantillon doivent être démontables.

Le porte-échantillon est un tube en ZrO<sub>2</sub>, d'un diamètre extérieur de 6mm et d'une épaisseur de 1,5mm. Ces dimensions peuvent être modifiées par le Titulaire au cours des études.

##### **Récupérateur de débris gaine (grille) :**

Lors de la fusion de la gaine, des coulures peuvent se former et se détacher. Le Titulaire devra prévoir un élément permettant de récupérer des fragments de gaine jusqu'à des dimensions de 1 mm par 1 mm.

Cet élément ne doit ni entraver la circulation du mélange oxydant, ni gêner la récupération du rinçage après l'essai.

##### **Contraintes mécaniques :**

L'intérieur du dispositif est exposé à un mélange oxydant ainsi qu'à une pression maximale de 2 bar relatif. La pression interne d'échantillon est identique à sa pression externe. De même la pression interne du porte échantillon est identique à sa pression externe.

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 18/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

Les matériaux et traitements de surface utilisés doivent être compatibles avec ces conditions de fonctionnement, en particulier vis-à-vis de l'oxydation.

#### **4.4.4 Instrumentation thermique de la gaine ATF**

L'évolution de la température de l'atmosphère à l'intérieur de l'échantillon est mesurée par un thermocouple rigide (gainé) de Type C inséré au centre des pastilles. Un Type B présentant des caractéristiques mécaniques similaires sera également fourni en supplément.

##### **Température de surface de la gaine :**

- Par deux thermocouples (un type C et un type B non gainés, emperlés, ligaturés directement sur la gaine) disposés de part et d'autre de l'échantillon au centre de la zone utile de 100mm.
- Par trois pyromètres bichromatique (OPTRIS 2M ratio) qui pointent à travers les spires de l'inducteur au centre de la zone utile de 100 mm de l'échantillon.
- Par trois caméras thermiques IR (OPTRIS PI05M) réparties à 360° autour de l'échantillon qui pointent la gaine à travers les spires de l'inducteur (afin de mesurer l'évolution et la distribution du gradient thermique sur les 100mm de la zone utile de la gaine).

##### **Contraintes mécaniques :**

Les supports de maintien et de positionnement de l'instrumentation sont à la charge du Titulaire.

#### **4.4.5 Instrumentation de visualisation de la dégradation de la gaine ATF**

Les caméras thermiques IR (OPTRIS PI05M) sont utilisées également pour visualiser la surface de la gaine afin qu'un opérateur puisse détecter en temps réel la formation d'un point de fusion de la gaine. La visualisation simultanée des trois flux vidéo, via trois fenêtres, est réalisée sur l'écran d'un ordinateur (fourniture PC et écran à la charge du titulaire). Le soft des caméras et des pyromètres est téléchargeable gratuitement sur le site d'OPTRIS. La documentation technique, les boîtiers d'interface vers l'API (PIF), les convertisseurs USB-Ethernet, les câbles ainsi que les embases de montage des caméras seront fournis par l'ASNR.

##### **Contraintes spécifiques :**

Tous les flux vidéo sont visualisés par l'opérateur sur le PC caméra, enregistrés par le système d'acquisition et routés vers le système de supervision, pour être exploités.

##### **Contraintes mécaniques :**

Les supports de maintien et de positionnement de l'instrumentation sont à la charge du Titulaire.

#### **4.4.6 Contraintes spécifiques aux mesures expérimentales :**

Toutes les mesures expérimentales sont systématiquement enregistrées en temps réel par le système d'acquisition et routées vers le système de supervision, pour être exploitées par le système de pilotage.

Le pilotage de la chauffe s'appuie sur la mesure fournie par l'un des dispositifs suivants : thermocouple interne, thermocouple externe, pyromètre ou caméra IR. Le basculement entre les différentes instrumentations au cours d'un essai doit être géré automatiquement par le contrôleur (Q station) du système d'acquisition. La mesure thermique par caméras nécessite une mesure de référence fournie par un des dispositifs suivants : thermocouple interne, thermocouple externe ou pyromètre. Le basculement entre les différentes instrumentations au

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 19/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

cours d'un essai doit être géré automatiquement par le contrôleur (Q station) du système d'acquisition. Les thermocouples devront être fournis avec leur certificat d'étalonnage.

#### **4.4.7 Instrumentation d'analyse de la masse d'hydrogène gazeux**

Les gaz à la sortie du four sont prélevés sur le réseau d'extraction et analysés en temps réel par un spectromètre de masse afin de déterminer la masse d'hydrogène dans les gaz. La fourniture de cette instrumentation est hors prestation, mais le montage est à la charge du Titulaire.

#### **4.4.8 Circuits fluides**

Le procédé est présenté dans le document [1] (schéma procédé). L'ensemble des composants du procédé est à la charge du Titulaire, à l'exception des servitudes amenées à proximité de l'installation par le bâtiment (arrivée en eau déminéralisée, en argon, etc.). Le raccordement aux servitudes disponibles dans le bâtiment est également à la charge du Titulaire.

Le schéma du procédé est complété par l'annexe 2, qui décrit le déroulement d'un essai type.

##### **Générateur de vapeur :**

Le générateur de vapeur permet de contrôler le mélange oxydant du dispositif. Il se compose d'un régulateur de débit liquide (débitmètre massique Coriolis avec pompe à engrenage asservie), d'un régulateur de débit massique pour le gaz porteur (argon), d'un évaporateur, d'un réchauffeur de gaz et d'un dispositif de mélange.

Les caractéristiques suivantes sont attendues :

- Débit liquide maximum : 3kg/h
- Débit gaz vecteur maxi : 50NL/min
- Précision des débits liquide et gaz vecteur :  $\pm 2\%$
- Temps de réponse du contrôle de débit liquide < 5s
- Temps de réponse du contrôle de débit gaz vecteur < 1s
- Température de sortie : ambiant à 180°C
- Précision température de sortie :  $\pm 10\%$
- Pression maximum d'utilisation : 2 bar relatif
- Réservoir d'eau : 10L
- Évaporateur de type Omicron Technologie (ou équivalent)
- Intégration : armoire avec châssis sur roulettes
- Communication Modbus TCP/IP (pour pilotage via l'armoire de commande)

##### **Circuit mélange oxydant :**

Le circuit dédié au mélange oxydant assure à la fois son injection et son extraction de la chambre de chauffe. Il se divise en deux parties : l'une pour l'injection, l'autre pour l'extraction.

La partie injection assure la liaison entre le générateur de vapeur et la bride inférieure. Elle est identifiée en bleu dans le schéma procédé [1]. Le diamètre de cette ligne sera défini par le Titulaire. Sa longueur approximative est de 2m.

La partie extraction relie la bride supérieure à l'intérieur de l'enceinte aspirante. Elle est identifiée en vert dans le schéma procédé [1]. Son diamètre sera également défini par le Titulaire, et sa longueur approximative est de 300mm.

Les connexions entre ce circuit et les différentes interfaces (brides et générateur de vapeur) seront réalisées à l'aide de raccords à double bague de type Swagelok (ou équivalent).

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 20/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

Afin d'éviter toute condensation à l'intérieur des tuyauteries, les lignes seront chauffées entre 130 °C et 180 °C et calorifugées. L'instrumentation associée à ce circuit est détaillée ci-dessous.

#### **Circuit rinçage :**

Le circuit dédié au rinçage assure à la fois son injection et son extraction de la chambre de chauffe. Il se divise en deux parties : l'un pour l'injection, l'autre pour l'extraction.

La partie injection assure la liaison entre le circuit d'eau déminéralisée de l'ASNR et la bride supérieure. Elle est identifiée en violet dans le schéma procédé [1]. Le diamètre de cette ligne sera de 6mm. Sa longueur approximative est de 2m.

La partie extraction relie la bride inférieure à un récupérateur. Elle est identifiée en orange dans le schéma procédé [1]. Son diamètre sera de 6mm et sa longueur approximative est de 600mm.

Les connexions entre ce circuit et les brides seront réalisées à l'aide de raccords à double bague de type Swagelok (ou équivalent). L'instrumentation associée à ce circuit est détaillée ci-dessous.

#### **Circuit secours :**

Le circuit secours assure l'injection d'argon dans la chambre de chauffe en cas d'arrêt procédé.

La partie injection secours assure la liaison entre le circuit argon bâtiment et la partie injection du circuit de mélange oxydant. Elle est identifiée en rouge dans le schéma procédé [1]. Le diamètre de cette ligne sera défini par le Titulaire. Sa longueur approximative est de 3m.

Ce circuit secours ne sera pas chauffée ni calorifugée. L'instrumentation associée à ce circuit est détaillée ci-dessous.

#### **Instrumentation / robinetterie fluide :**

Le Titulaire s'appuie sur le schéma procédé [1]. Les capteurs du procédé et la robinetterie y sont identifiés. La sélection et la définition des différents composants relèvent de la responsabilité du Titulaire. La liste détaillée des composants sera être soumise à l'ASNR pour approbation.

Descriptif succinct des composants attendus :

- Circuit injection mélange oxydant :
  - Clapet anti-retour
- Circuit extraction mélange oxydant :
  - Capteur température
  - Prélèvement pour concentration par spectromètre de masse
- Circuit injection rinçage :
  - Capteur pression
  - Vanne
  - Clapet de surpression
- Circuit extraction rinçage :
  - Vanne
- Circuit injection secours :
  - Vanne électropneumatique

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 21/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

#### 4.4.9 Contrôle commande électrique

Les fonctions électriques principales attendues sont les suivantes :

- Piloter les circuits : puissance du générateur inducteur, générateur de vapeur eau, etc. ;
- Permettre l'acquisition et la visualisation de toutes les mesures de l'installation ;
- Synchronisation des mesures expérimentales entre elles et avec les mesures du procédé.

Pour ce faire, le Titulaire réalisera :

- Une armoire de puissance (générateur HF)  
Cette armoire permettra de piloter la chauffe de l'inducteur du four FEAT (chauffage par induction)
- Une armoire de contrôle commande du procédé ;  
Cette armoire permettra de piloter le procédé et d'enregistrer les mesures expérimentales.

Les prescriptions sont les suivantes :

- Garantir la protection des personnes par des protections différentielles adaptées et la mise à la terre de chaque composant.
- Limiter au maximum les effets indésirables des champs électromagnétiques sur les mesures et les commandes.

#### **Armoire contrôle commande :**

##### **Description :**

Cette armoire contrôle-commande permet de piloter le procédé de l'installation FEAT via un automate et des régulateurs, elle :

- Pilote le générateur HF.
- Enregistre l'ensemble des mesures expérimentales
- Alimente le générateur de vapeur et le générateur HF
- Gère les sécurités via l'automate.
- Est alimentée en 400 V~ tétraphasé (puissance estimée 35 kVA) depuis une armoire de distribution du bâtiment. Pour information, le régime de neutre du bâtiment est IT.

Cette armoire contrôle-commande sera composée principalement :

- D'un voyant blanc de présence tension amont 400V~ (réseau Normal),
- D'un voyant blanc de présence sous tension 400V~ (réseau Normal),
- D'un voyant blanc de présence tension 24Vdc,
- D'un interrupteur sectionneur (avec organe de manœuvre externe cadenassable à positionner sur le côté de l'armoire),
- De disjoncteurs de protection (équipés de contact SD raccordés à l'automate),
- D'une alimentation 230V/24Vdc,
- D'un système d'acquisition des mesures conforme au standard des installations ASNR : Gantner Concentrateur + modules de conditionnement,
- D'un automate programmable industriel (API) conforme au standard des installations ASNR : Schneider M340,
- De cinq régulateurs PID conformes au standard des installations ASNR : Eurotherm série 3000 (en face avant de l'armoire),
- De quatre contacteurs de puissance,

|                                      |                                                                                                        |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais</b><br><b>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 22/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                        |                     |

- *De trois interfaces de traitement industrielle (PIF) et de trois serveurs USB Gigabit 2.0 (fourniture ASNR)*
- D'un switch réseau Ethernet 16 ports,
- De relaying,
- D'un voyant défauts,
- D'un voyant arrêt procédé,
- D'un bouton poussoir réarmement défaut,
- D'un bouton-poussoir noir d'arrêt procédé à accrochage avec sa protection contre les manœuvres intempestives et son étiquette de signalisation de couleur jaune (arrêt procédé),
- D'un buzzer,
- De liaisons de communication entre l'automate, les régulateurs, le système d'acquisition, les serveurs Gigabit 2.0, les 2 prises RJ45 et le switch réseau Ethernet,
- De la filerie interne,
- De deux prises réseau sur le côté de l'armoire,
- D'une prise 400V~ sur le côté de l'armoire,
- De borniers,
- D'un dispositif de ventilation de l'armoire équipé d'un thermostat,
- D'un éclairage interne à Led commandé par l'ouverture de porte,
- D'une serrure à clé n°2433A,
- D'une pochette à plans A3,
- De quatre anneaux de levage pour la manutention,
- D'un socle de 200 mm pour le passage des câbles au sol.

L'utilisation de protections par fusibles est proscrite ainsi que les disjoncteurs unipolaires.

La filiation entre tous les organes de protection est prépondérante. À cette fin, la continuité de matériel de marque Schneider est recommandée.

A l'intérieur de l'armoire, toutes les pièces nues sous tension devront comporter une protection d'indice IP2x minimum.

L'armoire comportera une réserve de place de 20% et avoir des indices de protection IP54 et IK10 minimum.

Le Titulaire aura à charge la visite usine de conformité électrique par un organisme agréé. La livraison de l'équipement à l'ASNR ne pourra intervenir que lorsque les éventuelles réserves auront été levées.

L'armoire contrôle-commande traitera les fonctions, les commandes et les mesures suivantes :

- La commande du générateur HF (cde M/A, Local/distance, reset, sécurité d'eau ext.) ;
- Le pilotage de la chauffe de l'inducteur via le générateur HF (régulation de température ou pilotage en puissance)
- Le pilotage de la chauffe des éléments chauffants des brides de la chambre de chauffe et du circuit injection/extraction du mélange oxydant ;

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 23/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

- Le pilotage de la vanne électropneumatique TOR du circuit d'injection secours ;
- Les mesures de température de la surface de l'échantillon (TC, pyro, caméras) pour le pilotage de la chauffe de l'inducteur ;
- Les mesures de température des éléments chauffants des brides de la chambre de chauffe et du circuit injection/extraction du mélange oxydant ;
- La mesure de température et de débit du circuit de refroidissement de l'inducteur ;
- La mesure de température en sortie de la chambre de chauffe ;
- Les mesures de courant, tension, puissance, fréquence du générateur HF ;
- La mesure de pression de la chambre de chauffe (sécurité surpression) ;
- Les alarmes fonctionnelles et de synthèse de défauts ;
- La fonction d'arrêt procédé ;
- La fonction du choix de la mesure de température pour la régulation de la chauffe de l'inducteur ;
- Les alimentations du générateur de vapeur (GV) et du générateur HF.

La fonction d'arrêt procédé sera déclenchée d'une part par l'API comme décrite plus loin dans ce paragraphe et d'autre part manuellement par plusieurs boutons poussoirs (AP au niveau du PC de supervision, AP sur le générateur HF, AP sur le générateur de vapeur)

## Automate

L'automate pilote (la liste ci-dessous est non exhaustive ; elle sera définie de manière complète au cours des études et validée par l'ASNR) :

- Le générateur HF (cde M/A, Local/distance, arrêt procédé, ...),
- Les régulateurs de l'armoire contrôle-commande.
- La vanne électropneumatique TOR du circuit d'injection secours

L'automate récupère les informations (la liste ci-dessous est non exhaustive ; elle sera définie de manière complète au cours des études et validée par l'ASNR) :

- Du générateur HF (défaut, retour marche, HF, arrêt procédé enclenché, ...),
- De la mesure de pression de la chambre de chauffe,
- De la mesure de température en sortie de la chambre de chauffe,
- De la mesure de débit du circuit de refroidissement de l'inducteur ;
- De la mesure de température du circuit de refroidissement de l'inducteur ;
- De défauts (générateur HF, générateur de vapeur, système d'acquisition, arrêt procédé,
- Du retour de marche du système de l'enceinte aspirante (ventilation), de la position de la porte de la sorbonne ;
- De l'arrêt procédé,

L'automate gère les actions fonctionnelles et de sécurité automatiques, sur certaines détections (TOR, dépassement de seuil ou ordre de la supervision).

Les 4 tableaux ci-après dressent la liste des principales entrées et sorties ANA et TOR qui devront être raccordées et traitées par l'automate (les tableaux ci-dessous sont non exhaustifs ; ils seront définis de manière complète au cours des études et validés par l'ASNR) :

- Entrées ANA :

| Type EANA                | Nb |
|--------------------------|----|
| Mesure de débit DE       | 1  |
| Mesure de pression PR    | 1  |
| Mesure de température TC | 2  |

**Tableau 2 : Entrées Analogiques**

- Sorties ANA :

| Type SANA                   | Nb |
|-----------------------------|----|
| A définir durant les études |    |

**Tableau 3 : Sorties Analogiques**

- Entrées TOR :

| Type ETOR                                | Nb |
|------------------------------------------|----|
| Retour marche système sorbonne aspirante | 1  |
| Position basse vitre sorbonne aspirante  | 1  |
| Retour marche générateur HF              | 1  |
| Synthèse défauts générateur HF           | 1  |
| Synthèse défauts Acquisition             | 1  |
| Synthèse défauts régulateurs             | 5  |
| Synthèse défauts caméras                 | 3  |
| Synthèse défauts disjoncteurs            | 1  |
| Arrêt procédé                            | 3  |
| BP réarmement                            | 1  |

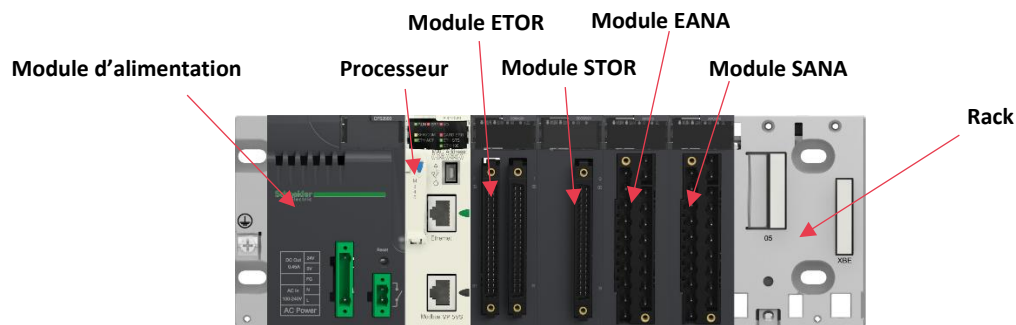
**Tableau 4 : Entrées Tout Ou Rien**

- Sorties TOR :

| Type STOR                                     | Nb |
|-----------------------------------------------|----|
| Commande Marche/Arrêt générateur HF           | 1  |
| Commande Local/Distance générateur HF         | 1  |
| Commande Reset, sécurités d'eau générateur HF | 2  |
| Commande arrêt procédé générateur HF          | 1  |
| Commande Marche/Arrêt GV                      | 1  |
| Commande Marche/Arrêt régulateur              | 5  |
| Commande vanne électropneumatique             | 1  |
| Allumage voyants défauts générales            | 1  |
| Commande buzzer                               | 1  |

**Tableau 5 : Sorties Tout Ou Rien**

Le nombre de cartes entrées/sorties de l'automate sera défini suivant la liste des capteurs et actionneurs mentionnés ci-dessus, et une réserve de 30% sera prise en compte pour les entrées/sorties TOR et 10% pour les entrées/sorties ANA.



**Figure 3 : Exemple de configuration automate**

Les entrées et sorties de l'automate seront câblées via des borniers déportés sectionnables (modules d'interface de type WAGO), afin de permettre des tests sectoriels et une recherche éventuelle de défaut plus aisée (module d'interface pour système de précâblage).



**Figure 4 : Modules d'interface et câble système WAGO**

Les actions de sécurité automatique peuvent aussi être générées par les dépassements de seuils de capteurs raccordés sur le système d'acquisition GANTNER. Dans ce cas, la

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 26/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

communication entre la supervision LabVIEW et l'automate permet l'enclenchement de ces actions de sécurité automatique (soit via la communication Modbus TCP/IP, soit directement par un TOR dédié).

Si besoin, certaines actions de sécurité pourront éventuellement être réalisées par relayage. Les alarmes et les défauts sont renvoyés à la supervision LabVIEW par le port communication. L'API sera aussi chargée de gérer la fonction d'arrêt procédé (AP) qui permet de mettre l'installation en sécurité en cas de dysfonctionnement détecté automatiquement (surpression, ...) ou déclenché manuellement par un opérateur par appui de l'un des boutons poussoirs d'arrêt procédé répartis sur l'installation.

Le circuit d'arrêt procédé est indépendant du circuit de coupure d'urgence électrique générale de l'installation. Il n'a pas d'effet sur les sources de distribution électrique amont aux différentes armoires, ni sur l'acquisition et le suivi des mesures. Cet arrêt procédé ne coupe donc que les commandes de marche des éléments de chauffe et la mise en repli de la vanne électropneumatique, il ne coupe pas l'alimentation des capteurs. Il interrompt le procédé et met l'installation en repli.

- L'arrêt procédé automatique sera déclenché par (la liste ci-dessous est non exhaustive ; elle sera définie de manière complète au cours des études et validée par l'ASNR) :
  - Un défaut sur un des départs d'alimentation dans l'armoire de puissance (générateur HF induction, générateur de vapeur, thermorégulateurs, ...) ;
  - Une pression de la chambre de chauffe supérieure à 2 bar rel. ;
  - Un débit du circuit injection du mélange oxydant inférieur à 1.3Kg/h (GV)
  - Un débit en sortie du circuit de refroidissement de l'inducteur et du générateur HF insuffisant (seuil à définir par le Titulaire)
  - Une température en sortie du circuit de refroidissement de l'inducteur et du générateur HF trop élevée (seuil à définir par le Titulaire)
  - Un défaut de fonctionnement sur l'enceinte aspirante (hors prestation).
- L'arrêt procédé déclenchera :
  - L'arrêt de la chauffe de l'inducteur par mise à OFF des commandes du générateur HF, mise à 0 des consignes de chauffe de l'inducteur (température ou puissance), passage en mode manuel avec sortie à 0% du régulateur (mode régulateur de température),
  - L'arrêt de la chauffe du circuit injection/extraction et des brides (inférieure/supérieure) de la chambre de chauffe par mise à OFF des commandes et forçage à 0 des consignes de chauffe ;
  - L'arrêt du générateur de vapeur ;
  - L'ouverture de la vanne du circuit de secours (mise au repos de la vanne) pour un balayage argon (à l'acquittement par défaut la vanne reste en position de repli) ;

**Nota** : le déverrouillage d'un bouton d'AP actionné par un opérateur ou d'un arrêt procédé automatique ne devra pas inhiber la fonction d'arrêt procédé. C'est l'opérateur qui peut seul relancer son process via la supervision après avoir supprimé tous les défauts et les alarmes associées (bouton réarmement).

Le Titulaire du marché réalisera la programmation de l'automate. Le programme sera largement commenté et transmis au chargé d'affaire à l'ASNR.

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 27/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

Une analyse fonctionnelle et organique détaillée devra être préalablement réalisée et soumise au chargé d'affaire de l'ASNR pour acceptation. Elle intégrera notamment un tableau récapitulatif des entrées/sorties, de leurs mnémoniques et des actions attendues.

L'ensemble des mesures, des reports d'états, des commandes, des défauts devra être présent dans la table d'échanges afin de communiquer avec le PC de supervision via la liaison Ethernet de l'API (Modbus TCP/IP).

L'API traitera l'ensemble des défauts (défauts arrêt procédé et alarmes) :

- Les défauts ou alarmes procédé suivants seront créés (la liste ci-dessous est non exhaustive ; elle sera définie de manière complète au cours des études et validée par l'ASNR) :
  - Synthèse défauts générateur HF
  - Synthèse défauts armoire contrôle-commande
  - Alarmes dépassement de gamme des mesures analogiques

Le tableau ci-dessous indique et résume les fonctions de sécurité traitées par l'API (le tableau ci-dessous est non exhaustif ; il sera défini de manière complète au cours des études et validé par l'ASNR) :

| Fonctions de sécurité                                                                      | Buzzer | Voyant arrêt procédé | Arrêt chauffe inducteur | Arrêt chauffe circuits injection/ extraction et brides inf./sup. | Arrêt du générateur de vapeur | Mise en repli vanne |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| <i>Bouton arrêt procédé</i>                                                                | X      | X                    | X                       | X                                                                | X                             | X                   |
| <i>Synthèse défauts armoire contrôle commande</i>                                          | X      | X                    | X                       | X                                                                | X                             | X                   |
| <i>Seuil pression chambre de chauffe &gt;2bar</i>                                          | X      | X                    | X                       | X                                                                | X                             | X                   |
| <i>Débit circuit injection mélange oxydant &lt; 1.3Kg/h</i>                                | X      | X                    | X                       | X                                                                | X                             | X                   |
| <i>Défaut circuit de refroidissement générateur HF et inducteur (Débit et température)</i> | X      | X                    | X                       | X                                                                | X                             | X                   |
| <i>Défaut enceinte aspirante</i>                                                           | X      | X                    | X                       | X                                                                | X                             | X                   |

**Tableau 6 : Fonctions de sécurité traitées par l'API**

## Supervision et communication

Le procédé est piloté uniquement par la supervision qui sera développée et mise en œuvre par l'ASNR sous LabView. La supervision n'est donc pas incluse dans la prestation, néanmoins le Titulaire du marché devra s'assurer de la bonne communication avec tous les équipements connectés et de l'exhaustivité du contenu de la table d'échanges de l'API.

La communication entre le PC supervision, l'automate, les régulateurs, l'acquisition, le générateur de vapeur (GV), le générateur HF, se font suivant le protocole modbus TCP. Le PC de supervision est de fourniture ASNR.

Ci-dessous le schéma du réseau de communication :

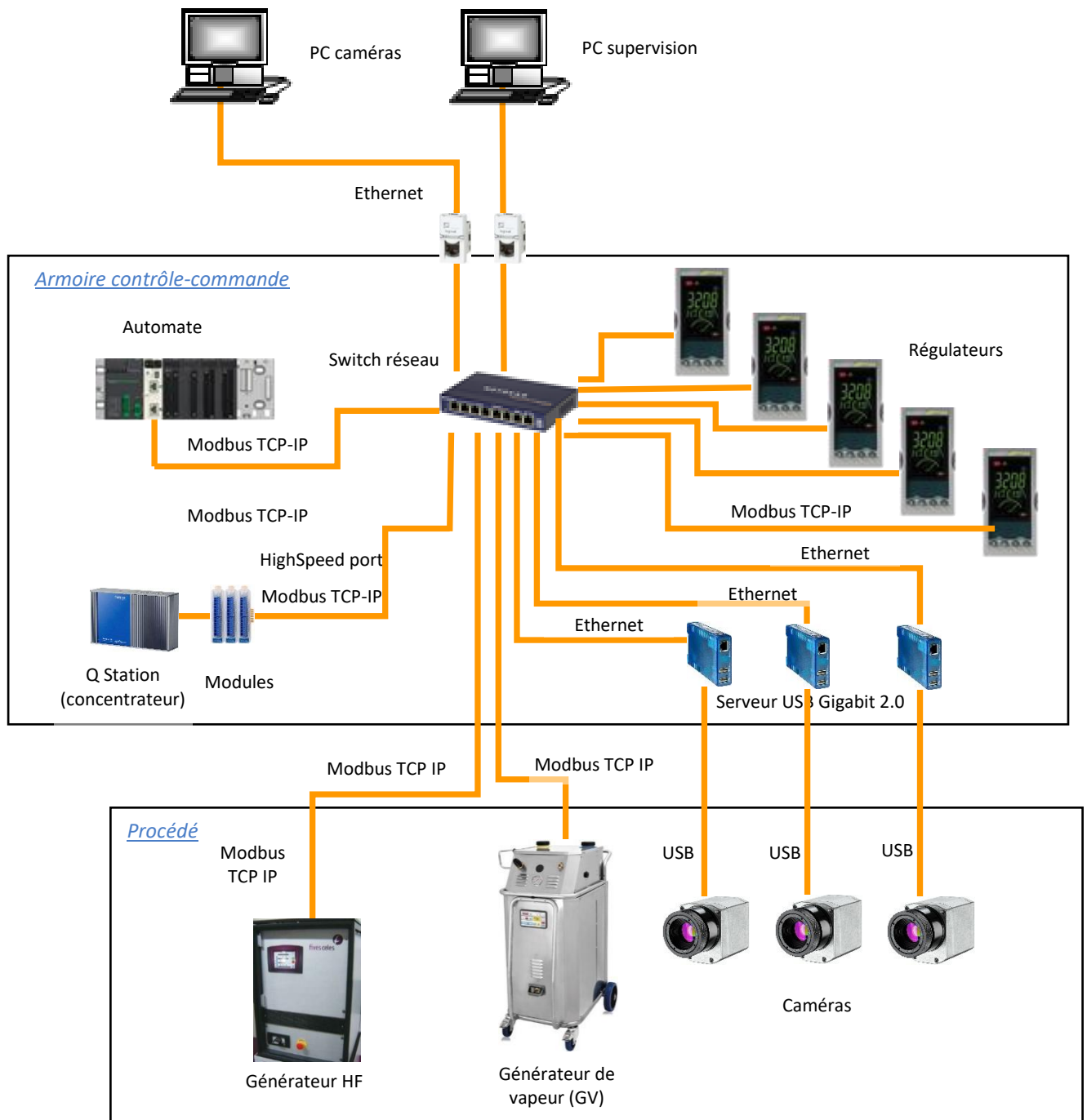


Figure 5 : Réseau de communication

## Régulateurs

Cinq régulateurs sont nécessaires pour réaliser les régulations décrites ci-après. Pour des raisons de standardisation, les régulateurs seront de marque EUROTHERM. Ils sont à régler par le Titulaire du marché lors des essais de recette. Il remettra également à l'ASNR l'intégralité des paramètres de réglage des régulateurs sous la forme d'un fichier 'clone' de configuration.

### Régulateur 1 :

- Régulation de température de l'inducteur (générateur HF) - soit par consigne de température, soit par consigne puissance générateur. Les deux doivent être possibles.

**Fonction :** *réguler en température de 20°C à 2100°C suivant les rampes de température décrites dans le cycle d'oxydation de la Figure 2*

### Régulateurs 2, 3, 4, 5 :

- Régulation de température du circuit injection du mélange oxydant
- Régulation de température du circuit extraction du mélange oxydant
- Régulation de température de la bride supérieure de la chambre de chauffe
- Régulation de température de la bride inférieure de la chambre de chauffe

**Fonction :** *réguler en température (>130°C)*

Ces régulateurs seront implantés en face avant de l'armoire de contrôle-commande. Leurs caractéristiques sont les suivantes :

- Pour le régulateur n°1 de température :

|                            |             |                                                                                                                  |
|----------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Entrée mesure</b>       | Analogique  | 1 entrée minimum<br>Signal 4-20mA                                                                                |
| <b>Entrée logique</b>      | Contact sec | 1 entrée minimum                                                                                                 |
| <b>Sortie logique</b>      | Contact sec | 1 sortie minimum                                                                                                 |
| <b>Sortie régulation</b>   | Analogique  | Signal 4/20mA<br>Commande de la chauffe de l'inducteur                                                           |
| <b>Communication</b>       | Numérique   | Modbus TCP/IP                                                                                                    |
| <b>Fonction régulation</b> | Régulation  | Algorithme PID<br>Programmation rampes (rampes de température décrites dans le cycle d'oxydation de la Figure 2) |
| <b>Généralités</b>         | Affichage   | 2 afficheurs : consigne et mesure<br>Précision : $\pm 0,3\%$ de l'étendue de mesure (minimum)                    |

- Pour les régulateurs n°2, 3, 4 et 5 de température :

|                            |             |                                                                                                                         |
|----------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Entrée mesure</b>       | Analogique  | 1 entrée minimum<br>Signaux thermocouples, signal RTD                                                                   |
| <b>Entrée logique</b>      | Contact sec | 1 entrée minimum                                                                                                        |
| <b>Sortie logique</b>      | Contact sec | 1 sortie minimum                                                                                                        |
| <b>Sortie régulation</b>   | Analogique  | Signal 4/20mA<br>Commande de la chauffe du circuit injection/extraction et des brides inf.sup. de la chambre de chauffe |
| <b>Communication</b>       | Numérique   | Modbus TCP/IP                                                                                                           |
| <b>Fonction régulation</b> | Régulation  | Algorithme PID                                                                                                          |
| <b>Généralités</b>         | Affichage   | 2 afficheurs : consigne et mesure<br>Précision : $\pm 0,3\%$ de l'étendue de mesure (minimum)                           |

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 30/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

Les communications Modbus TCP/IP seront reliées au switch réseau de l'armoire.

Caractéristique du progiciel Itools (pour information) :

Il permet d'accéder à distance aux paramètres des régulateurs (lecture et configuration), de démarrer / arrêter / configurer les régulateurs.

### **Système d'acquisition des mesures**

Le système d'acquisition prendra en compte l'ensemble des mesures expérimentales de l'installation FEAT (température TCB, TCC, Pyromètres IR, caméras ; tension, courant, puissance, fréquence générateur HF).

Ce qui correspond à :

- 2 mesures de température thermocouple type C
- 1 mesure de température thermocouple type B
- 3 mesures de température pyromètres
- 3 mesures de température caméras
- 1 mesure de tension du générateur HF
- 1 mesure de courant du générateur HF
- 1 mesure de puissance du générateur HF
- 1 mesure de fréquence du générateur HF

Le système retenu est basé sur une configuration matérielle de chez GANTNER Instruments : un concentrateur multiplexe et synchronise les signaux de mesures issus de modules de conditionnement multivoies universels ou spécialisés avec sortie numérique sur bus RS485.

Ce système prend en compte les caractéristiques et les contraintes liées à l'expérimentation du four FEAT : faible encombrement, grande capacité de conditionnement (jusqu'à 512 voies de mesures par concentrateur), précision de la mesure (notamment pour les voies de température), mode de compensation de soudure froide intégré, fonctionnalités de l'IHM de base, intégrabilité à notre supervision...

Ce système est déjà mis en œuvre sur l'installation MIDI, ainsi que sur d'autres plateformes d'essais de l'ASNR.

Il est composé d'un concentrateur-datalogger (Qstation avec l'option Test.con) qui récupère de manière synchrone et sur 24 bits l'ensemble des mesures de chaque conditionneur de signaux via une de ses 4 liaisons RS-485.

Ces matériels permettent des connexions-déconnexions à chaud sans reparamétrage.

Son architecture est la suivante :

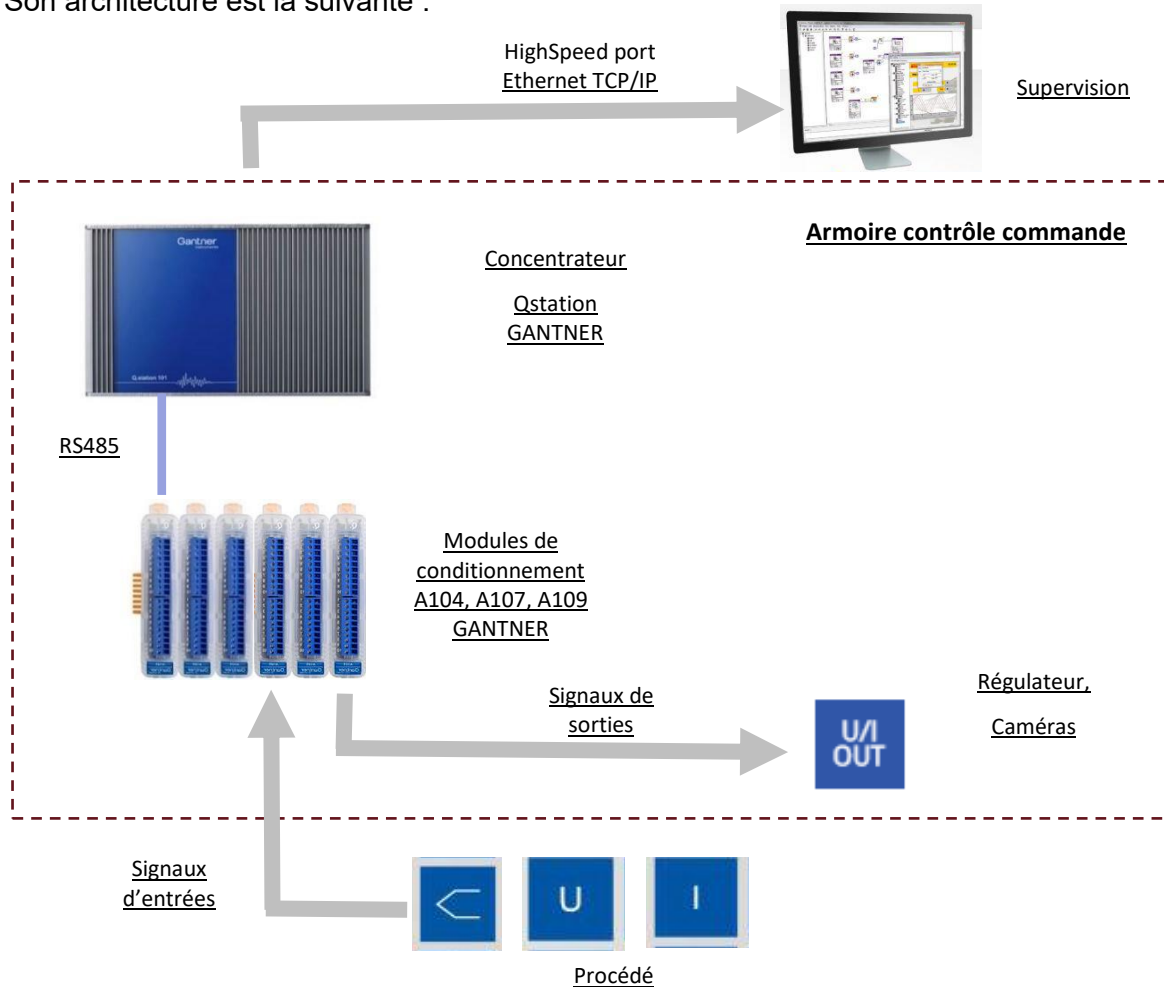


Figure 6 : Architecture acquisition de mesure

Le tableau ci-dessous décrit l'affectation des mesures par catégorie et par type de module de conditionnement :

| Coffret de mesures |           |                     |             |               |
|--------------------|-----------|---------------------|-------------|---------------|
| Type mesure        | Nb. voies | Réf. module GANTNER | Nb. modules | Voies réserve |
| TC                 | 3         | A104                | 1           | 1             |
| TE                 | 4         | A107                | 2           | 8             |
| U                  | 1         |                     |             |               |
| I                  | 1         |                     |             |               |
| P                  | 1         |                     |             |               |
| F                  | 1         |                     |             |               |
| TE                 | 4         | A109                | 2           | 4             |

Le module Qbloxx A104 supporte les thermocouples des types B / E / J / K / L / N / R / S / T / U. Le thermocouple type C n'est pas dans cette liste mais le module A104 sait mesurer des tensions mV avec une grande précision.

|                                      |                                                                                                        |              |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais</b><br><b>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | Page : 32/48 |
| Indice : 2                           |                                                                                                        |              |

La voie de mesure du thermocouple TC C sera configurée en tension directe mV et la table polynomiale ITS-90 du type C sera rentrée dans le module A104.

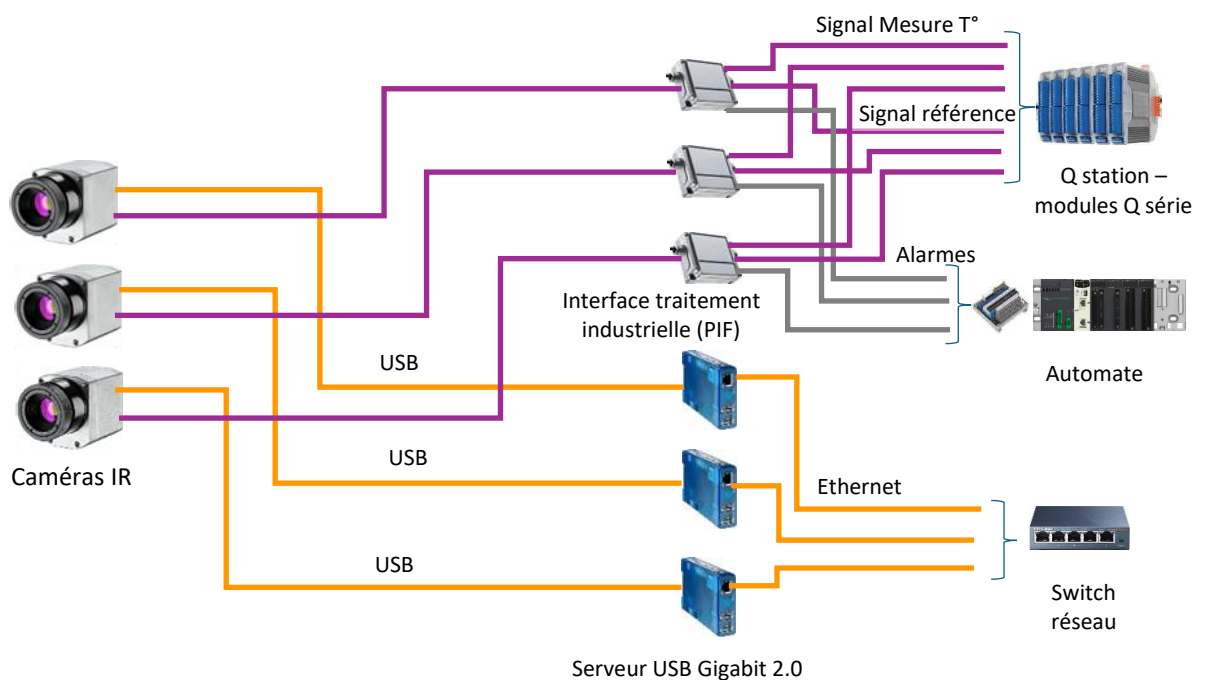
La température de compensation de la soudure froide (CJC) utilisera le capteur interne du module A104 et sera prise en compte pour le calcul de la température.

Le module Qbloxx A109 comporte 4 voies de sortie analogique :

- 3 voies seront utilisées pour le signal de référence des caméras (mesure issue d'un ou des trois pyromètres, ou d'un thermocouple).
- 1 voie sera utilisée comme consigne de température pour le régulateur du générateur HF. Cette consigne de température sera élaborée par le système de programmation test.con (fonction à programmer) pour que la température de la gaine suive au mieux les rampes de température décrites dans le cycle d'oxydation de la Figure 2, La valeur de cette consigne sera élaborée par programmation à partir des mesures issues des 3 pyromètres, des 3 caméras ou du thermocouple TC C.

### Caméras

Les trois caméras thermiques infrarouges OPTRIS PI05M sont connectées chacune à un serveur USB Gigabit 2.0 et à une interface de traitement industrielle (PIF).. L'interface de traitement industrielle (PIF) transmet le signal de la mesure de température de la caméra vers le système d'acquisition et les alarmes vers l'automate. Le système d'acquisition envoie, en retour, le signal de référence de la caméra à l'interface de traitement industrielle (PIF).



**Figure 7: Schéma de principe fonctionnement caméras**

## **4.5 Poste 1.1 : Etudes du dispositif**

La prestation comprend la réalisation d'un Avant-Projet Détaillé qui justifiera la conception, le dimensionnement du dispositif. À ce titre, il est attendu l'ensemble des éléments suivants :

- La conception et le dimensionnement des éléments constituant le dispositif ;

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 33/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

- La réalisation des plans d'ensemble, nomenclature et plans de détails ;
- La rédaction des documents de fabrication vierges/ à renseigner (LOFC, procédure d'essais etc.).

Les livrables attendus au terme des études du dispositif sont les suivants :

| <b>Livrables</b>                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>Document pour information</b> | <b>Document pour acceptation ASNR</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| Réalisation du schéma procédé final permettant de répondre aux spécifications fonctionnelles sur AUTOCAD version 2023 ou compatible                                                                                                                                  | x                                |                                       |
| Définition des différents équipements avec fourniture d'une nomenclature (intégrant l'instrumentation de mesure expérimentale)                                                                                                                                       |                                  | x                                     |
| Plans d'ensemble avec nomenclature et plans de détails ainsi que les fichiers CAO 2D (plans) et 3D (pièces et assemblage) au format SolidWorks 2024 ou une version antérieure (ou tout logiciel compatible avec SolidWorks 2024) et PDF                              |                                  | x                                     |
| Note de dimensionnement du générateur hautes fréquences                                                                                                                                                                                                              | x                                |                                       |
| Schémas électriques en version BPE. Les plans électriques devront être réalisés en CAO, exclusivement avec le logiciel AutoCAD Electrical, version 2023 ou ultérieure, selon la méthodologie propre à l'ASNR/SIPR. Tout autre logiciel de CAO ou de DAO est proscrit |                                  | x                                     |
| Note de calculs électrique de dimensionnement des protections et des liaisons. Elle devra être réalisée avec le logiciel CANECO BT, version 2023 ou ultérieure                                                                                                       |                                  | x                                     |
| Analyse fonctionnelle et organique détaillée. Elle intégrera notamment un tableau récapitulatif des entrées/sorties, de leurs mnémoniques et des actions attendues                                                                                                   |                                  | x                                     |
| Programme de l'automate                                                                                                                                                                                                                                              |                                  | x                                     |
| Cahier de soudage (si soudures)                                                                                                                                                                                                                                      | x                                |                                       |
| Matrice de conformité des exigences                                                                                                                                                                                                                                  |                                  | x                                     |
| Procédure d'essai préliminaire (essai électrique, et essai de fonctionnement)                                                                                                                                                                                        |                                  | x                                     |
| Tout autre document (note de calcul supplémentaire, plan, procédure, ...) jugé nécessaire par le Titulaire                                                                                                                                                           | x                                |                                       |

**Tableau 7 : Livrables études**

**L'acceptation des études est un point d'arrêt contractuel avant le lancement en fabrication. Une revue de conception devra être réalisée.**

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 34/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

## 4.6 Poste 1.2 : Réalisation du dispositif

La prestation inclut la réalisation du dispositif ainsi que la fourniture des livrables associés.

Les prestations suivantes sont à la charge du Titulaire :

- Les approvisionnements (point d'arrêt) ;
- La fabrication ;
- Le montage ;
- L'intégration complète des mesures expérimentales (mécaniques et logiciel).

A ce titre, les livrables attendus au terme de la réalisation sont les suivants :

Dossier matière :

- Les certificats de conformité des composants du commerce ;
- Les certificats matière (CCPU).

Plans :

- L'ensemble des plans d'ensemble avec nomenclature et des plans de détails à l'état TQC, en format .PDF.

Dossier réalisation :

- Le plan qualité de réalisation renseigné (LOFC) ;
- Les PV dimensionnels des principaux composants. Un PV par pièce est attendu ;
- Les PV d'étalonnage des thermocouples ;
- Si soudures :
  - Réalisées par des soudeurs qualifiés (qualification soudeurs à jour) ;
  - Considérées comme étanches et résistantes ;
  - PV de contrôle visuel et ressuage. Un PV par pièce soudée est attendu ;
  - Certificats matière soudage ;
- Les PV de traitement (décapage passivation, galvanisation, peinture...) ;
- Une notice d'utilisation de fonctionnement du dispositif (incluant un descriptif de chaque élément du dispositif, y compris l'instrumentation thermique expérimentale) ;
- Une notice de maintenance du dispositif (peut être regroupée avec la notice précédente) ;
- Les contrôles visuels de chaque équipement :
  - État de propreté (absence de corps étranger, de souillure et de salissures) ;
  - États de surface (absence de défauts de surface tels que traces de corrosion, d'impact et de rayures, d'amorçage d'arc, coup d'outil...) ;
  - Respect des chanfreins et absence d'arêtes vives ;
  - Qualité des assemblages mécaniques et de la boulonnerie (freinage, couple et absence de déformation, choc, marque sur les filets...) ;
- Tout autre document (procédure...) jugé nécessaire par le Titulaire.

Dossier Qualité :

- Fiche de non-conformité (le cas échéant) ;
- Une notice d'instruction ainsi qu'une déclaration de conformité, établies conformément aux exigences de la directive DESP 2014/68/EU et de l'AM 20/11/2017 (catégorie 4.3).

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 35/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

## 4.7 Poste 1.3 : Essais de recette usine

Pour les essais, le titulaire prévoit dans son offre les accessoires nécessaires à la réalisation des essais (bouchons, joints élastomères, ...).

Le PV d'étalonnage de tous les appareils de contrôle utilisés pour la recette usine sont joints aux PV ou les repères et références des appareils de contrôle systématiquement reportés sur les PV de contrôle.

En plus des essais décrits ci-dessous, la recette en usine comprend, en présence de l'ASNR, les opérations suivantes :

- Examen du dossier constructeur préliminaire ;
- Contrôle des approvisionnements :
  - o Vérification de la réception de toutes les pièces ;
  - o Vérification de la conformité des composants approvisionnés ainsi que de leurs documents techniques ;
- Contrôle des réalisations (contrôle visuel) ;
- Contrôle du fonctionnement du PC Camera, Contrôle de la fonction de visualisation cameras et pyromètres, revu du paramétrage du soft camera et pyromètre.

- Essai d'épreuve de résistance de la chambre de chauffe :

La configuration minimale requise pour cet essai inclut l'ensemble des composants de confinement (brides, chambre de chauffe, joints, quincaillerie, etc.) et de mécaniques internes (échantillon, porte échantillon et récupérateur). Lors de cet essai, les passages étanches non utilisés devront être obturés à l'aide de bouchons étanches, fournis et installés par le Titulaire.

Cette épreuve sera réalisée en eau, à la température ambiante et à la pression de 3 bar relatif pendant une durée de 30 minutes.

Critère d'acceptation : aucune chute de pression n'est acceptée. Un contrôle visuel du réservoir sera réalisé après l'épreuve.

Un PV récapitulatif sera rédigé à la fin de l'épreuve de résistance.

- Test d'étanchéité du réservoir sous vide à l'hélium :

Afin de limiter les fuites un test d'étanchéité doit être effectué. Il sera réalisé après l'essai d'épreuve de résistance. La configuration pour l'essai est identique à celle pour l'essai d'épreuve de résistance. Le test est réalisé par injection d'hélium à l'extérieur et tirage au vide à l'intérieur du réservoir.

Critère d'acceptation :

- o Flux de fuite global maximal de  $10^{-5} \text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ,
- o Flux de fuite local maximal de  $10^{-6} \text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  .

Un PV sera rédigé à la fin du test d'étanchéité par des opérateurs Cofrend de niveau 2.

- Test électrique :

Conformité aux schémas électriques, normes et spécifications ; Contrôle de repérage ; Contrôle de continuité (fil à fil), contrôle d'isolement, pré-réglage, ... ;

Mise sous tension ; essais d'automatisme (à blanc) ; essais de fonctionnement élémentaires et d'ensemble.

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 36/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

- Test de montage :

Le Titulaire procédera, en présence de l'ASNR, à l'assemblage et au désassemblage des éléments suivants :

- L'inducteur magnétique ;
- Les composants de confinement ;
- Les composants internes à la chambre de chauffe ;
- L'instrumentation thermique (dont instrumentation fournie par l'ASNR sauf le spectromètre).

Le Titulaire fait le choix du traitement à appliquer sur les vis pour limiter le risque de grippage. Les éléments en acier inoxydable seront dégraissés, décapés, passivés.

L'ensemble de ces éléments devra être pesé et fera l'objet d'un contrôle visuel de propreté avant et après le montage.

- Essai de fonctionnement :

Ces essais seront effectués avec la configuration complète du dispositif.

Les essais de préparation réalisés par le Titulaire devront faire l'objet d'une information à l'ASNR, sous la forme d'un rapport précisant notamment le type d'essais effectués, les éventuels problèmes rencontrés, etc.

Au minimum, trois essais devront être réalisés (voir annexe 2 pour le déroulé d'un essai type) :

- Un premier essai type sans vapeur d'eau surchauffée (argon uniquement) et sans pastille interne. Rampe de température de pré-oxydation 1°C/s et d'oxydation 10°C/s.
- Un second essai type avec argon, vapeur d'eau surchauffée et avec pastille interne. Rampe de température de pré-oxydation 0.3°C/s et d'oxydation 2°C/s.
- Un troisième essai avec un échantillon chromé jusqu'à une température de 1500°C sous argon pur. Rampe de température de 10°C/s.

Le Titulaire devra soumettre à l'ASNR, en amont des essais, un programme d'essai détaillé pour acceptation.

Critère d'acceptation :

- Bon déroulement des enregistrements des mesures expérimentales (hors spectro), y compris les flux vidéo des caméras thermiques et des pyromètres.
- L'acceptation du dispositif sera conditionnée à la réalisation sans incident des essais de fonctionnement. Le dispositif devra démontrer sa conformité en assurant le bon fonctionnement global, notamment par le respect strict des rampes de chauffe programmées, des températures cibles ainsi que de leur homogénéité (voir l'ensemble des valeurs dans les paragraphes 4.3 et 4.4). Tout écart entraînera la non-validation de l'essai.
- Validation d'un rapport comprenant le rappel du programme d'essai, déroulé des essais, les résultats des essais, les paramètres de réglages de l'instrumentation optique.

La présence de représentants de l'ASNR est requise durant ces essais.

**L'acceptation de la fabrication et des recettes usines est un point d'arrêt contractuel.**

L'autorisation d'expédition sera délivrée à l'issue de la recette en usine, lorsque tous les points soumis à examen auront été reconnus satisfaisants.

Les conditions de livraison et de transport sont à la charge du Titulaire. Les assemblages seront toutefois protégés afin d'éviter toute pollution et exempts de graisses et de poussières.

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 37/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

## 4.8 Poste 2 : Montage et recette site ASNR

Le poste 2 comprend la livraison des fournitures et le montage sur site de l'ensemble du dispositif (y compris le raccordement au réseau ASNR et le raccordement au spectromètre de masse, intégration du dispositif dans la sorbonne aspirante), suivant les exigences spécifiées dans ce document.

Le montage comprendra la fourniture, la pose et le raccordement de l'ensemble des liaisons électriques (hors celles fournies par l'ASNR), y compris la liaison d'alimentation de l'armoire contrôle commande depuis l'armoire de distribution et la sorbonne aspirante.

La prestation inclut les essais de recette site et le dossier constructeur.

Avant son intervention sur site :

- Le Titulaire fournira une procédure de montage au SIPR pour information.
- Le Titulaire prendra compte de l'encombrement de la salle expérimentale et effectuera des relevés sur site si nécessaire. Le cas échéant, il adaptera les moyens matériels dont il a la charge.

Un Plan de Prévention sera établi sur la base de la procédure de montage, en amont du démarrage du chantier, afin d'identifier les risques et les dispositions (EPI individuels et collectifs) à prendre pour assurer la sécurité des intervenants.

Les zones de montage seront définies avec l'exploitant (SEREX/LE2M) en fonction de la disponibilité du lieu.

### 4.8.1 Essais de recette site

Ces essais seront effectués avec la configuration complète du dispositif sur site ASNR. L'implantation du dispositif sera réalisée dans une sorbonne aspirante (fourniture ASNR).

Lors de ces essais, le Titulaire devra reproduire les deux premiers essais effectués lors des essais de chauffe en usine afin d'avoir des points de comparaison.

Ensuite, un troisième essai type sera réalisé avec un échantillon en zirconium revêtu de chrome, avec pastilles internes, sous balayage d'argon et de vapeur d'eau surchauffée. Rampe de température de pré-oxydation 0.3°C/s et d'oxydation 2°C/s.

Le Titulaire devra soumettre à l'ASNR, en amont des essais, un programme d'essai détaillé pour acceptation.

Critère d'acceptation :

- Bon déroulement des enregistrements des mesures expérimentales (hors spectro), y compris les flux vidéo des caméras thermiques.
- L'acceptation du dispositif sera conditionnée à la réalisation sans incident des trois essais. Le dispositif devra démontrer sa conformité en assurant le bon fonctionnement global, notamment par le respect strict des rampes de chauffe programmées, des températures cibles ainsi que de leur homogénéité (voir l'ensemble des valeurs dans les paragraphes 4.3 et 4.4). Tout écart entraînera la non-validation de l'essai.
- Validation d'un rapport comprenant le rappel du programme d'essai, déroulé des essais, les résultats des essais.

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 38/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

#### 4.8.2 Contraintes site - Localisation

Les contraintes sites seront définies par l'ASNR lors du lancement des études (emplacement, taille, dimension de la porte d'accès, moyens de manutention, sorbonne, ...)

Le Titulaire s'assurera de l'adéquation des opérations avec les moyens de manutention disponibles ou amenés par le Titulaire.

L'ensemble des outillages, des accessoires et appareils de manutention nécessaires au montage sont à la charge du Titulaire.

L'utilisation du pont par le Titulaire est soumise à l'autorisation du chef d'installation du SEREX, autorisation délivrée sur présentation des habilitations adéquates (pontier élingueur).

Le dispositif sera implanté dans une enceinte aspirante de type sorbonne.

#### 4.9 Poste 3 : Travaux ponctuels sur marchés subséquents

Pour la prise en compte de modifications mineures, l'ASNR pourra émettre des Ordres de Service pour travaux supplémentaires mineurs nécessaires à la réalisation.

Ces travaux complémentaires feront également l'objet, si nécessaire, de contrôles et de mises à jour des plans.

##### Modalités d'exécution des Ordres de Service :

Le Chargé d'Affaires du SIPR fera réaliser ces travaux complémentaires en dépenses contrôlées sous la forme :

Demande d'intervention → Offre Fournisseur → Ordre de Service.

L'ASNR transmet au Titulaire une demande d'intervention précisant l'ensemble des fournitures et des prestations à réaliser.

En retour, sous quinze jours, le Titulaire fournit un devis et un planning de réalisation.

Les taux de Main d'œuvre seront ceux indiqués lors de l'établissement de sa proposition initiale.

Pour les pièces détachées et la sous-traitance, le Titulaire produira le devis de son fournisseur et pourra y appliquer le coefficient de peines et soins indiqué lors de l'établissement de sa proposition initiale.

Après acceptation par l'ASNR, l'Ordre de Service sera exécuté selon les modalités décrites dans celui-ci.

***N.B. : la mise en conformité de l'installation, à la suite de défauts de réalisation ou de montage de la fourniture, ou le remplacement de composants défectueux, ne pourra en aucun cas être prise en charge par ce poste.***

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 39/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

## 5 DESCRIPTION DES FOURNITURES ET LIVRABLES

### 5.1 Livraison

La prestation intègre le transport et le déchargement sur site des équipements. Le Titulaire veillera à la mise en propreté du matériel avant emballage, et réalisera un conditionnement garantissant la qualité du produit durant le transport.

L'installation sur site sera prise en charge par l'ASNR. Le matériel est à livrer à l'adresse suivante :

- Livraison à effectuer auprès de la société « MAINCO »  
ZI du Castellet Rue René Pellat
- A l'attention de Martial KPEMOU bâtiment 327
- Centre de Cadarache, 13115 Saint-Paul-lez-Durance
- Installation : FEAT

### 5.2 Fournitures ASNR

L'ASNR mettra à disposition du Titulaire les documents et équipements suivants :

- Schéma procédé : FEA.2E.0000.DE.24007-001 Ind 0 ;
- Plan échantillon : FEA.2E.0000.DE.24007-010 Ind 0 ;
- Plan d'ensemble : FEA.2E.0000.DE.24007-100 Ind 0 ;
- Spécifications OPTRIS -- Documentations techniques du constructeur
- Échantillons de gaine (quantité 8)
- Caméras thermiques infrarouges OPTRIS PMI05 (quantité 3)
- Pyromètres bichromatiques infrarouges OPTRIS CTratio 2M (quantité 3)
- Spectromètre de masse sur site ASNR (quantité 1)
- PC de supervision (quantité 1)

Les documents méthodologiques applicables (cf. §2), sauf CODAP dernière version en vigueur.

Le Titulaire est seul responsable de l'intégration, la compatibilité et du bon fonctionnement de l'ensemble des interfaces, y compris celles impliquant des équipements fournis par l'ASNR.

### 5.3 Fournitures à la charge du Titulaire

Le Titulaire fournira la prestation décrite aux § 4/5 ainsi que les documents listés ci-dessous.

#### 5.3.1 Documents à remettre par le Titulaire avant fabrication

Nota : l'ensemble des documents/plans fournis par le Titulaire porteront (outre l'éventuelle référence du Titulaire) une référence ASNR fournie en réunion d'enclenchement.

Les documents suivants sont transmis lors de la réunion d'enclenchement :

- Un Plan de Management Qualité Particulier ;
- Un planning ;
- Un Plan de Qualité / LOFC.

Après examen du Plan de Qualité, l'ASNR précisera au Titulaire les opérations auxquelles il souhaite assister, en cours et en fin de fabrication. Ces opérations figurent en tant que point de notification.

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 40/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

Les opérations faisant l'objet d'un point de notification nécessitent l'information de l'ASNR. Une distinction est faite entre points de convocation, présence de l'ASNR à sa discrétion, et points d'arrêt, présence de l'ASNR obligatoire.

Les documents décrits dans le tableau 2 du chapitre 4.5 sont soumis à l'ASNR pour information et acceptation avant tout commencement de fabrication.

### 5.3.2 Documents techniques à remettre en fin de réalisation

Le Titulaire remettra en fin d'affaire un dossier constructeur, constitué a minima et suivant les préconisations du guide PSN-SIPR-GUI-036, des éléments précisés dans le récapitulatif en annexe 1.

Ce dossier sera remis en un exemplaire papier et en version informatique.

Les fichiers seront au format PDF pour les documents, au format Solidworks pour les plans mécaniques et au format pour AutoCAD Electrical les plans électriques.

Ce dossier devra être établi par le Titulaire tout au long de la réalisation. Le chargé d'affaire et le référent qualité de l'ASNR pourront réaliser des inspections programmées du dossier en cours d'affaire.

## 6 RECEPTION

Les réceptions de chacune des phases du paragraphes 1.3 font l'objet d'un procès-verbal contradictoire signé par les deux parties suivant le modèle PSN-ASNR-FRM-012.

## 7 ORGANISATION

### 7.1 Organisation du suivi à l'ASNR

Un chargé d'affaires est désigné à l'ASNR responsable de l'affaire. À ce titre, dans le cadre du marché, il est l'interlocuteur principal de l'ASNR pour les interfaces contractuelles avec le Titulaire du marché. En son absence, cette responsabilité sera assurée par un suppléant désigné par l'ASNR.

Les interlocuteurs ASNR pour cette affaire sont :

| <i>Fonction</i>                                      | <i>Interlocuteur</i> | <i>Coordonnées</i>                                                                               |
|------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Chargé d'affaire</i>                              | Thibault ORLANDINI   | 04 42 19 91 58<br><a href="mailto:thibault.orlandini@asnr.fr">thibault.orlandini@asnr.fr</a>     |
| <i>Chargé d'affaire instrumentation et suppléant</i> | Gil BOIOLI           | 04 42 19 96 40<br><a href="mailto:gil.boioli@asnr.fr">gil.boioli@asnr.fr</a>                     |
| <i>Correspondant achat et administratif</i>          | Marine RIGAL         | 04 42 19 92 26<br><a href="mailto:marine.rigal@asnr.fr">marine.rigal@asnr.fr</a>                 |
| <i>Référent Qualité</i>                              | Corinne DONQUE-GOMEZ | 04 42 19 93 76<br><a href="mailto:corinne.donque-gomez@asnr.fr">corinne.donque-gomez@asnr.fr</a> |
| <i>Chef de laboratoire</i>                           | Éric MAGLICA         | 04 42 19 93 35<br><a href="mailto:eric.maglica@asnr.fr">eric.maglica@asnr.fr</a>                 |

### 7.2 Organisation du Titulaire

L'organisation mise en place pour gérer les relations avec l'ASNR devra être précisée dans l'offre.

Le Titulaire devra désigner un chargé d'affaires qui sera l'interlocuteur unique du ASNR.

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 41/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

Le rôle du chargé d'affaires est de veiller à la bonne exécution du marché selon les termes du contrat. Il a le devoir de rendre compte au chargé d'affaire ASNR de l'avancement de la prestation et des difficultés éventuelles rencontrées.

En cas de changement, temporaire (absence) ou définitif, de celui-ci au cours de l'exécution du marché, le Titulaire devra en informer aussitôt par écrit le chargé d'affaires ASNR et le remplacer par une personne de même niveau de compétence et sans délai.

## 8 CONDITIONS D'INTERVENTION SUR SITE

La sécurité est sous la responsabilité du Titulaire. Avant le commencement des travaux, le Titulaire du marché sera convoqué à une réunion d'information suivie d'une Inspection Commune Préalable à une Opération (ICPO) qui permettra d'établir par écrit le Plan de Prévention (PDP). A cette réunion seront présents a minima :

- Le responsable entreprise ou son délégataire
- L'Ingénieur Sécurité Environnement de l'ASNR (ISE)
- Le chargé d'affaires de l'ASNR

Et selon l'intervention/les travaux menés, le chef de chantier, le chargé d'affaire, le responsable sécurité-environnement de l'entreprise.

L'ISE y définira les mesures qui devront être prises en vue de prévenir les risques pouvant résulter de l'interférence entre les travaux liés à l'activité du Titulaire, les activités des divers Titulaires, et les risques liés aux installations et matériels de l'ASNR. Cette visite de sécurité / plan de prévention sera effectuée au plus tard 1 semaine avant le début des travaux. Les attestations ou habilitations nécessaires à l'intervention ainsi que l'analyse de risque ou mode opératoire décrivant les travaux doivent être fournis dans la mesure du possible en amont du PDP et au plus tard apportés le jour de la réunion du plan de prévention au chargé d'affaire de l'ASNR. Ces documents seront annexés au plan de prévention et archivés par le chargé d'affaire du service.

Le planning du Titulaire est intégré dans le planning général, en tenant compte de la coactivité et des contraintes exploitation. Le créneau d'intervention sur site est confirmé par l'ASNR.

Dans le cas où de nouvelles interférences ou de nouveaux risques apparaîtraient, une visite sera réalisée en présence de l'IS et du CA avec rédaction d'un avenant au plan de prévention avec toutes les entreprises concernées.

### PERSONNEL INTERVENANT

Le personnel intervenant est non exposé.

Le personnel intervenant doit porter les protections individuelles (gants, chaussures de sécurité, etc.) en fonction des travaux (meulage, soudage, décapage, etc.) telles que définies lors du PDP.

Sanitaires mis à disposition par l'ASNR.

### CONDITIONS D'ACCES

Horaires autorisés : 8h00 - 16h30

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 42/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

## GESTION DES DECHETS

### Déchets conventionnels

Pendant toute la durée des interventions, le chantier sera maintenu en parfait état de propreté. Le Titulaire devra assurer le tri de ses déchets conventionnels. Le correspondant déchet ASNR lui précisera le tri à réaliser et les zones de dépose de ses déchets.

L'évacuation des déchets conventionnels de type béton et gravats est à la charge du Titulaire du marché.

## RISQUE ELECTRIQUE

L'ensemble du personnel intervenant doit être habilité par rapport à la réglementation française en vigueur et au niveau adapté au regard de l'intervention.

Les matériels électriques mis en œuvre doivent être contrôlés périodiquement conformément à la réglementation et maintenus en bon état.

Les gros équipements devront posséder un arrêt d'urgence.

Les petits matériels seront raccordés sur un coffret équipé d'un arrêt d'urgence.

Pour les travaux sur plate-forme métallique ou dans une enceinte métallique, chaque matériel sera raccordé à un transformateur d'isolement (à la charge du Titulaire) avec un seul appareil par transformateur.

Pour les travaux dans une enceinte métallique l'éclairage sera en basse tension (à la charge du Titulaire).

## RISQUE DE MANUTENTION ET MANIPULATIONS

Les équipements de manutention fournis par le Titulaire devront avoir un contrôle réglementaire conformément à la périodicité.

- Port de gants adaptés aux risques, de chaussures de sécurité, du casque ;
- Respect des règles, des gestes et postures ;
- Baliser la zone de manutention ;
- Interdiction de circuler sous la charge.

L'utilisation des moyens de levage de l'ASNR peut être déléguée au Titulaire sous condition que le « conducteur » soit formé par un organisme agréé, habilité par son chef d'entreprise et autorisé par le chef d'installation ASNR.

Dans le cas où les opérations de chargement/déchargement ne seraient pas couvertes par un plan de prévention, un protocole de chargement/déchargement sera établi conjointement par le Titulaire du marché et l'ASNR.

## RISQUE TRAVAILLEUR ISOLE

Maintenir deux personnes minimums en permanence sur le chantier, afin de permettre de lancer une alerte en cas d'accident ou d'incident

## RISQUE INCENDIE

Un permis de feu sera nécessaire pour les opérations de découpe, meulage, et tous travaux par point chaud. Le permis feu décrira les consignes et moyens de protection particuliers à respecter.

Un extincteur (à la charge du Titulaire) sera en permanence à proximité de la zone de travail en adéquation avec le risque.

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 43/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

## RISQUE MECANIQUE

Le Titulaire devra fournir à son personnel les équipements de protection adaptés et conformes à la réglementation, (port de lunettes, gants et chaussures de sécurité, etc.).

## BRUIT

Port de casque antibruit ou de bouchons d'oreilles lors des opérations générant des nuisances sonores (découpes, ...) ou de travaux dans des locaux bruyants.

## RISQUE CHIMIQUE

Les produits cancérogènes et mutagènes pour la reproduction sont interdits.

Les fiches de données sécurité des produits chimiques utilisés lors de l'intervention devront être jointes à l'offre et seront annexées au plan de prévention. Lors des travaux, tous les produits chimiques devront être étiquetés et entreposés sur des bacs de rétention à charge du Titulaire. Lors des opérations de manipulation et de mise en œuvre des produits, les intervenants devront porter des équipements de protection adaptés conformément aux fiches de données et de sécurité :

- Port des équipements de protection des voies respiratoires ;
- Port de tenues, gants et chaussures de sécurité adaptés aux risques ;
- Port de lunettes de protection ;
- Balisage de la zone de manutention avec extincteur à proximité...

## RISQUE ANOXIE

Port des oxygénomètres mis à disposition par le Titulaire, pour toute intervention dans des zones confinées, enceintes, caniveaux, sous-sols...

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 44/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

## 9 ANNEXE(S)

### 9.1 Annexe 1 : Récapitulatif des documents du dossier constructeur

#### 1. Documents contractuels (correspond au chapitre 1 du guide PSN-SIPR-GUI-036)

- Spécification d'équipement
- Offre
- Commande et avenants le cas échéant
- Compte-rendu de réunion d'enclenchement
- Planning

Le cas échéant le dossier de modifications

#### 2. Documents liés au management de la qualité chapitre 2 du guide PSN-SIPR-GUI-036)

- Plan de Management Qualité Particulier (PMQP)
- Plans de Qualité / LOFC
- Documents de suivi d'affaire (feuilles de réponse, rapports d'inspections, feuilles de remarques, comptes rendus de réunion hors ceux d'enclenchement et de revue conception, courriers/courriels...)

#### 3. Documents de conception (chapitre 3 du guide PSN-SIPR-GUI-036)

- L'ensemble des documents décrit dans le tableau 2 du chapitre 4.5
- Dossiers de conception d'APS/APD
- Compte-rendu de la revue de conception

#### 4. Documents d'achat/approvisionnement et sous-traitance (chapitre 4 du guide PSN-SIPR-GUI-036)

- Liste des sous-traitants avec leurs coordonnées
- Approvisionnement matière, essais et contrôles, matériels, autres prestations (études, calculs...)
- Matériel mis à disposition ou cédé par l'ASNR ou son client (PV de cession)

#### 5. Dossier de soudage (chapitre 5 du guide PSN-SIPR-GUI-036)

- Le cas échéant
- Nomenclature et plan de repérage des soudures
- Cahier de soudage
- Procès-verbaux de contrôles (visuel et ressuage)

#### 6. Documents de réalisation usine (chapitre 6 du guide PSN-SIPR-GUI-036)

- Liste des opérations de fabrication et de contrôle (LOFC)
- Programme d'essais mécanique et électrique
- Notice utilisation/maintenance
- Procès-verbaux
- Rapports d'essai
- Références des dispositifs de surveillance et de mesure utilisés avec certificats d'étalonnage valides

**Nota :** Toutes les procédures relatives au soudage figurent dans la rubrique 5 "dossier de soudage".

|                                      |                                                                                                  |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais<br/>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 45/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                  |                     |

## **7. Documents de livraison (chapitre 7 du guide PSN-SIPR-GUI-036)**

- Identification,
- Bordereaux de livraison

## **8. Documents de réalisation site (chapitre 8 du guide PSN-SIPR-GUI-036)**

- Procédures
  - de réalisation
  - de contrôles
  - de montage
- Programmes d'essais
- Procès-verbaux
- Notice d'instruction

Cette rubrique comporte aussi tous les documents liés à l'intervention sur site :

- Convocation à l'Inspection Commune préalable
- Plan de prévention

## **9. Documents d'enregistrements relatifs à la maîtrise du produit-non conforme et à l'amélioration continue (chapitre 9 du guide PSN-SIPR-GUI-036)**

Le cas échéant

- Fiches de non-conformité et de réclamation client
- Demande de dérogation
- Action corrective/Actions préventive

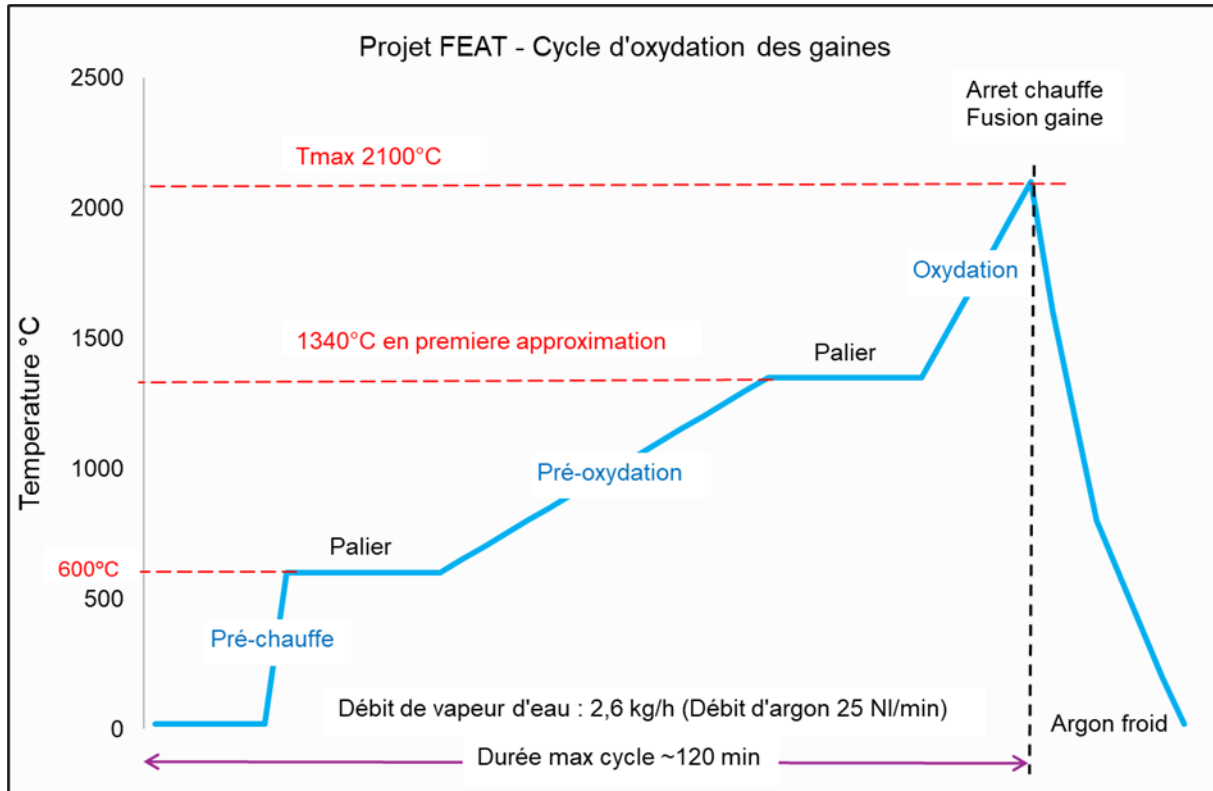
## **10. Documents de réception (chapitre 10 du guide PSN-SIPR-GUI-036)**

- Certificat de conformité du Titulaire
- Procès-verbaux de réception

### **Dossier réglementaire**

Une notice d'instruction ainsi qu'une déclaration de conformité, établies conformément aux exigences de la directive DESP 2014/68/EU et de l'AM 20/11/2017 (catégorie 4.3).

## 9.2 Annexe 2 : Déroulé d'un essai type



**Figure 8 : Essai type - Cycle d'oxydation des gaines**

Les principales étapes d'un essai sont les suivantes :

**Etape de mise en condition d'essai :** mise en fonctionnement de l'enceinte aspirante (hors prestation), les brides et les cordons chauffants sont en chauffe, le chauffage de la gaine est à l'arrêt, balayage argon pendant 5 minutes avec un débit de 25 NL/min puis le mélange oxydant (mélange de vapeur d'eau et d'argon) est introduit dans la chambre de chauffe avec un débit de vapeur d'eau de 2.6kg/h et un débit d'argon de 25 NL/min.

**Etape de pré chauffe de la gaine :** la gaine est chauffée jusqu'à une valeur d'environ 600°C assez rapidement (10°C/s). L'élévation de température est pilotée via une consigne de puissance (induite). La température de consigne de 600°C sera mesurée à l'aide du TC interne.

**Palier de 0 à 15 min** avec un maintien de la température de la gaine à environ 600°C

**Etape de pré oxydation de la gaine :** la gaine est chauffée avec une lente montée en température (entre 0,1 et 0,3°C/s) juste en deçà de la température d'eutectique (entre le chrome et le zircaloy estimée à environ 1340°C). Élévation de température est pilotée via une consigne de puissance (induite), ou via une rampe de température. La température de consigne sera mesurée à l'aide du TC interne.

Des essais de qualification seront nécessaires afin de déterminer expérimentalement la température correspondant au phénomène d'eutectique (hors prestation).

|                                      |                                                                                                        |                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Référence : FEA.2E.0000.SE.24007-001 | <b>Etude et réalisation d'un dispositif d'essais</b><br><b>Projet FEAT – Dispositif Accident Grave</b> | <b>Page : 47/48</b> |
| Indice : 2                           |                                                                                                        |                     |

**Palier de 0 à 15 min** avec un maintien de la température de la gaine juste en dessous de la température d'eutectique.

**Etape d'oxydation de la gaine** : avec une élévation relativement importante de la température entre 2 et 10°C/s. L'élévation de température est pilotée via une consigne de puissance (induite), ou via une rampe de température. La température de consigne sera mesurée à l'aide des caméras thermiques.

**Etape de dégradation de l'intégrité de la gaine** : lorsque l'opérateur détecte un point de fusion à la surface de la gaine (attendue avant 2100°C), il déclenche l'arrêt de la chauffe et l'inertage de la chambre par un balayage d'argon non chauffé d'un débit de 50 NL/min

**Etape de rinçage** : Lorsque la température de la gaine a suffisamment diminué, un noyage de la chambre et de la gaine est effectué, suivi par une vidange.

## 9.3 Annexe 3 : schéma d'architecture contrôle-commande

