

# Chaudière à coques d'anacarde

## Descriptif technique détaillé

### SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>LE REACTEUR DE PYROLYSE .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>L'ECHANGEUR DE LA CHAUDIERE.....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>INSTRUMENTATION ET CONTROLE/COMMANDE.....</b>	<b>7</b>
4.1	INSTRUMENTS ET CAPTEURS .....	7
4.2	BOUCLES DE REGULATION/CONTROLE, SECURITES ET ALARMES .....	8
4.3	INTERFACE OPERATEUR.....	9
<b>5</b>	<b>EQUIPEMENTS SPECIFIQUES .....</b>	<b>9</b>
5.1	LE VENTILATEUR DE TIRAGE (EXTRACTEUR DE FUMÉES) .....	9
5.2	LE RADIATEUR.....	9
5.3	LE CIRCULATEUR.....	10

#### **ANNEXE 1. SCHEMAS COTES DU REACTEUR ET DE LA CHAUDIERE**

1. LE REACTEUR DE PYROLYSE
2. LE CONVOYEUR A VIS (ALIMENTATION BIOMASSE)
3. L'ECHANGEUR DE CHALEURS

#### **ANNEXE 2. DIAGRAMME DE TUYAUTERIE ET D'INSTRUMENTATION (P&ID)**

#### **ANNEXE 3. DOCUMENTATION DU VENTILATEUR D'EXTRACTION DE FUMÉES**

## 1 INTRODUCTION

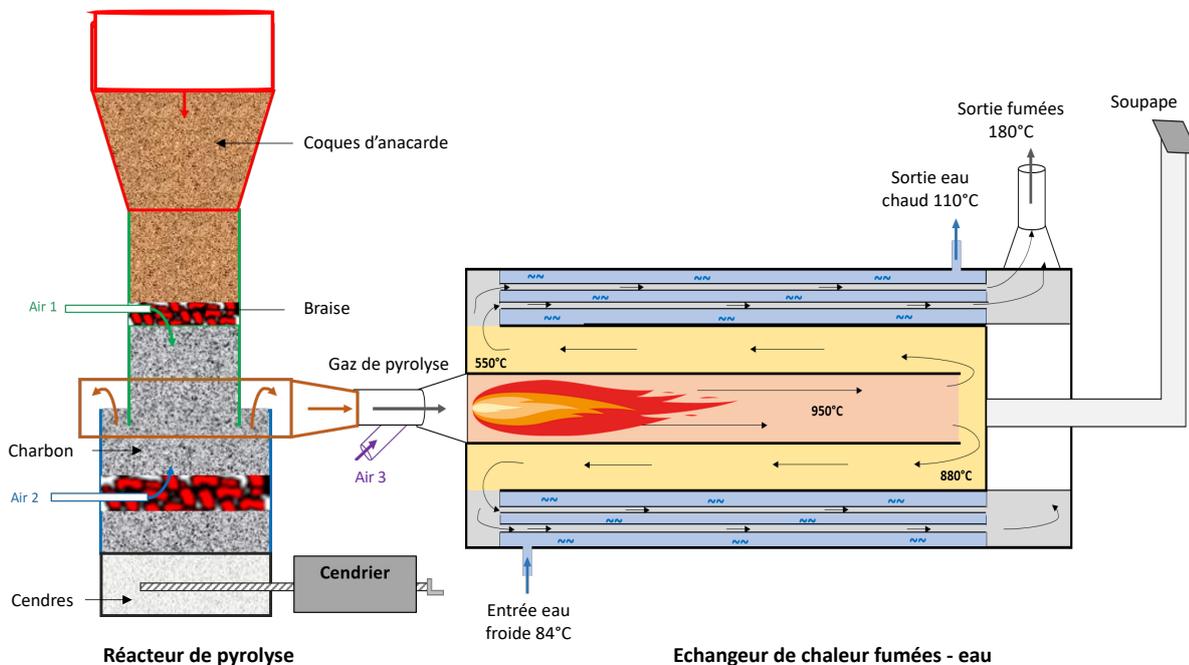
Ce descriptif présente le principe de fonctionnement et les spécifications techniques du système à construire. Le dimensionnement thermique a permis de définir les débits de biomasse et d'air, et ainsi les dimensions internes des différents équipements. Les spécifications des ventilateurs et pompes sont également définis, de même que les besoins d'instrumentation et de contrôle commande.

En revanche, la conception mécanique détaillée est à la charge du soumissionnaire. Il devra définir les matériaux à employer et leur dimensionnement adéquat pour opérer dans les conditions de température et de pression présentées dans ce document. Cette conception détaillée fera l'objet de réunions de travail avec l'équipe du projet BioStar. Toutes propositions visant à faciliter la construction de l'équipement ou à réduire son coût de fabrication sont bienvenues. La conception détaillée devra être validée avec le Maître d'œuvre avant fabrication.

La chaudière est constituée de 2 parties : un réacteur de pyrolyse à coques d'anacarde alimenté par un convoyeur à vis et un échangeur de chaleur fumées – eau à l'intérieur duquel les gaz de pyrolyse sont brûlés. (Figure 1).

Le réacteur de pyrolyse se présente à la verticale, la biomasse est alimentée par le haut et descend par gravité au fur et à mesure de sa consommation. Les gaz produits sont récupérés en bas du réacteur et envoyés vers l'échangeur de chaleur installé à l'horizontal. L'échangeur de chaleur est cylindrique et dispose en son centre d'une chambre de combustion, dans laquelle sont brûlés les gaz de pyrolyse. Les gaz de combustion (fumées) à haute température passent ensuite dans des tubes pour transférer leur chaleur et chauffer l'eau présente dans l'enveloppe (la calandre).

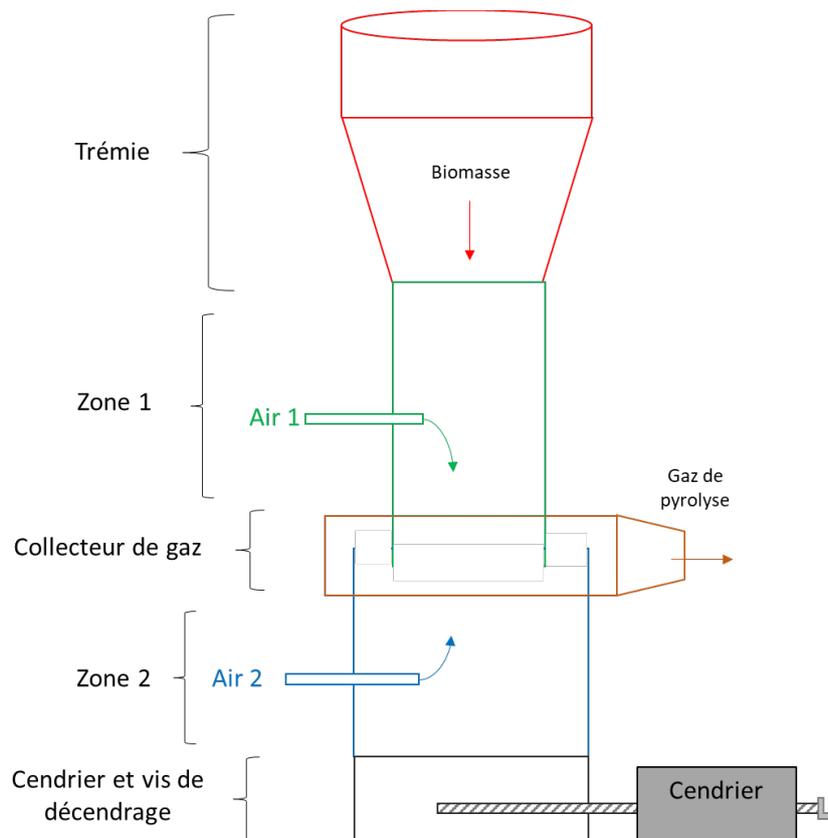
L'ensemble du système est mis en légère dépression par un extracteur de fumées en sortie de l'échangeur. Ce ventilateur permet l'aspiration des airs nécessaires aux étapes de combustion et la circulation des gaz au sein de l'échangeur.



**Figure 1 Schéma de principe de la chaudière associant le réacteur de pyrolyse et l'échangeur de chaleur fumées - eau**

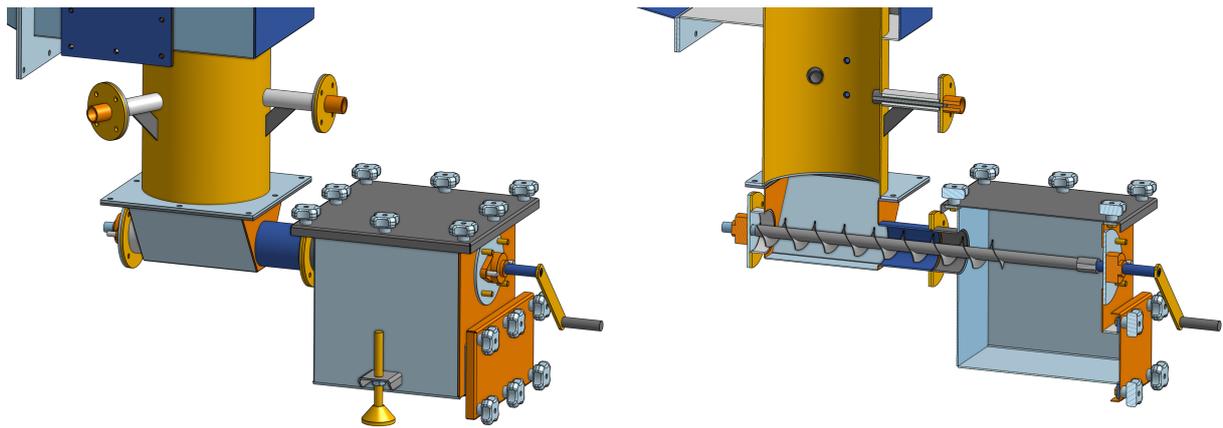
## 2 LE REACTEUR DE PYROLYSE

Le réacteur de pyrolyse est présenté schématiquement sur la Figure 2. Il est constitué d'une trémie d'alimentation conique en partie haute et de 2 viroles co-axiales de diamètres différents, définissant deux zones, 1 et 2. La virole 1 s'insère légèrement dans celle la virole 2 de 10-15 mm environ. Chaque zone reçoit une injection d'air qui va permettre de pyrolyser les coques et de produire un gaz combustible. Les gaz produits sont extraits dans un collecteur annulaire situé entre ces deux cylindres, en partie basse du réacteur, et envoyés vers l'échangeur. Par ailleurs, le réacteur de pyrolyse est muni de plusieurs piquages pour les mesures de températures/pressions de gaz à prévoir au niveau de la chaudronnerie (voir diagramme d'instrumentation en Annexe 2).



**Figure 2 Schéma et éléments du réacteur de pyrolyse**

Au fur et à mesure de sa progression dans le réacteur, la biomasse est convertie d'abord en charbon, puis en cendres. Les cendres sont extraites en pied du réacteur, sous une grille, par une vis manuelle de déchargement et collectées dans un cendrier amovible. Le montage doit être étanche à l'air. Un exemple de réalisation est illustré sur la Figure 3.



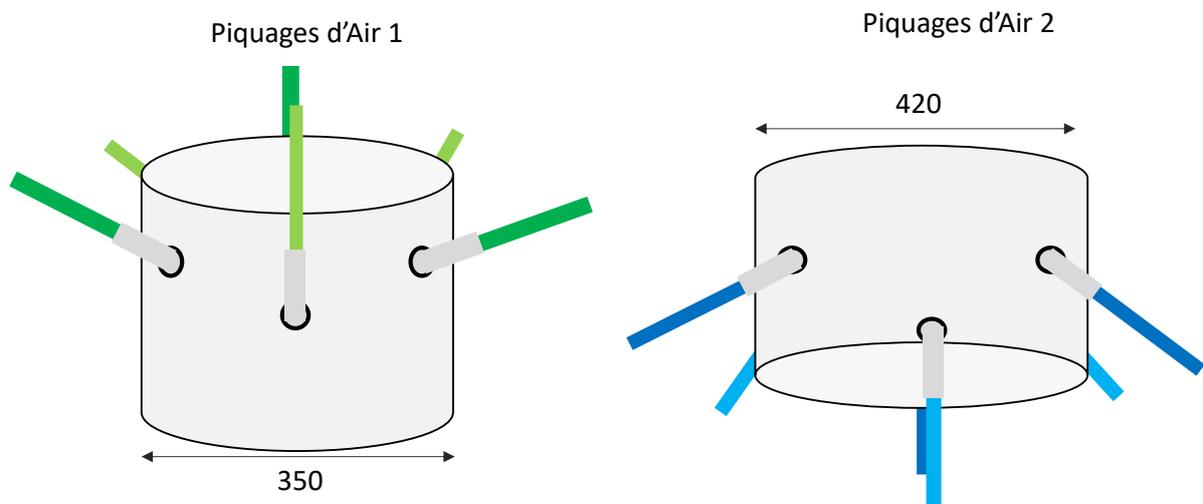
**Figure 3. Exemple de réalisation de la vis de décendrage et du cendrier en bas du réacteur.**

Les injections d'Air 1 et 2 se font chacune par 6 piquages répartis en 2 niveaux autour des cylindres. Chaque piquage est muni d'une bride sur laquelle vient se monter un tube d'injection d'air. Les tubes s'insèrent dans le réacteur à différentes profondeurs (50 mm maximum) et forment un angle de sorte à injecter l'air dans le sens de circulation des gaz et de la biomasse (Figure 4). L'extrémité du tube située dans le réacteur sera soumise à des températures élevées et risque de s'oxyder rapidement. Le montage proposé, avec fixation sur brides, permettra de les remplacer facilement lorsque nécessaire.

Les 12 piquages (air 1 et 2) ont un diamètre de 25mm et sont munis :

- De bouchons percés montés à l'entrée de chaque tube pour réduire le diamètre de passage de l'air et ainsi ajuster le débit d'air nécessaire ; les perçages seront d'environ 15mm pour les piquages d'Air 1 et 10mm pour les piquages d'Air 2.
- De vannes d'arrêt.

Au niveau des zones d'injection d'air, les températures dans le réacteur seront élevées, allant jusqu'à 600°C. Il est donc suggéré de prévoir soit un habillage en matériau réfractaire, ou, au moins, une épaisseur de tôle plus importante.



**Figure 4 Schémas des piquages d'air 1 et 2 en zone 1 et 2**

Un convoyeur à vis permet d'alimenter le réacteur depuis un stock au sol (Figure 5). Il est composé d'un bac de stockage de biomasse, d'un moteur, d'une vis positionnée au sein d'un tube et d'un déversoir. L'inclinaison du convoyeur ne doit pas excéder 45°. Pour assurer une bonne autonomie, la cuve de stockage sera d'environ 0,5m<sup>3</sup>. Au niveau du déversement de biomasse, la connexion entre le convoyeur et la trémie doit être étanche et démontable. La vitesse de rotation de la vis doit être de 75 tr/min maximum.

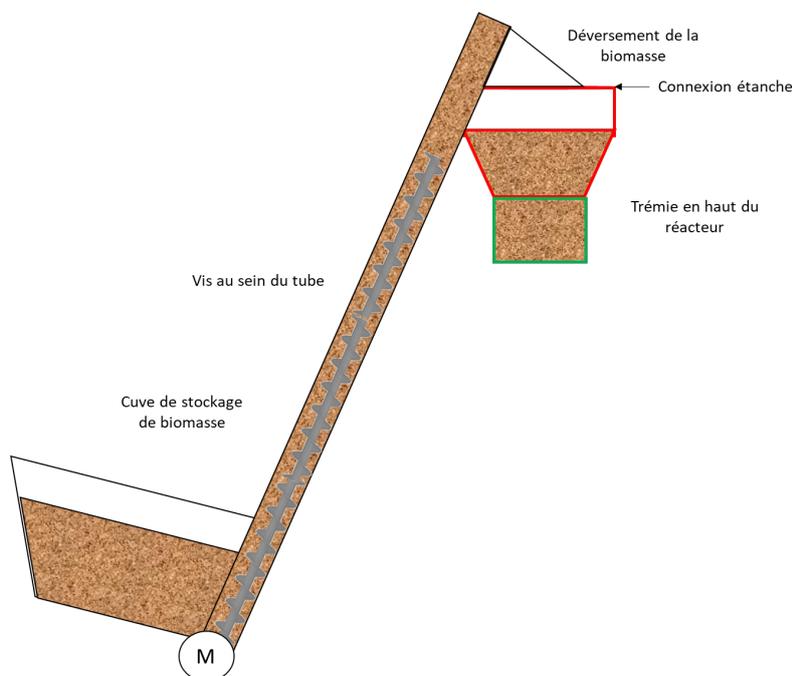


Figure 5 Schéma de principe du convoyeur à vis

*Un ensemble de schémas côtés est fourni en Annexe 1.1 et 1.2.*

### 3 L'ECHANGEUR DE LA CHAUDIERE

En sortie du réacteur, les gaz de pyrolyse sont envoyés à l'échangeur de chaleur, installé à l'horizontal. Son fonctionnement est illustré sur les Figure 6 et Figure 7.

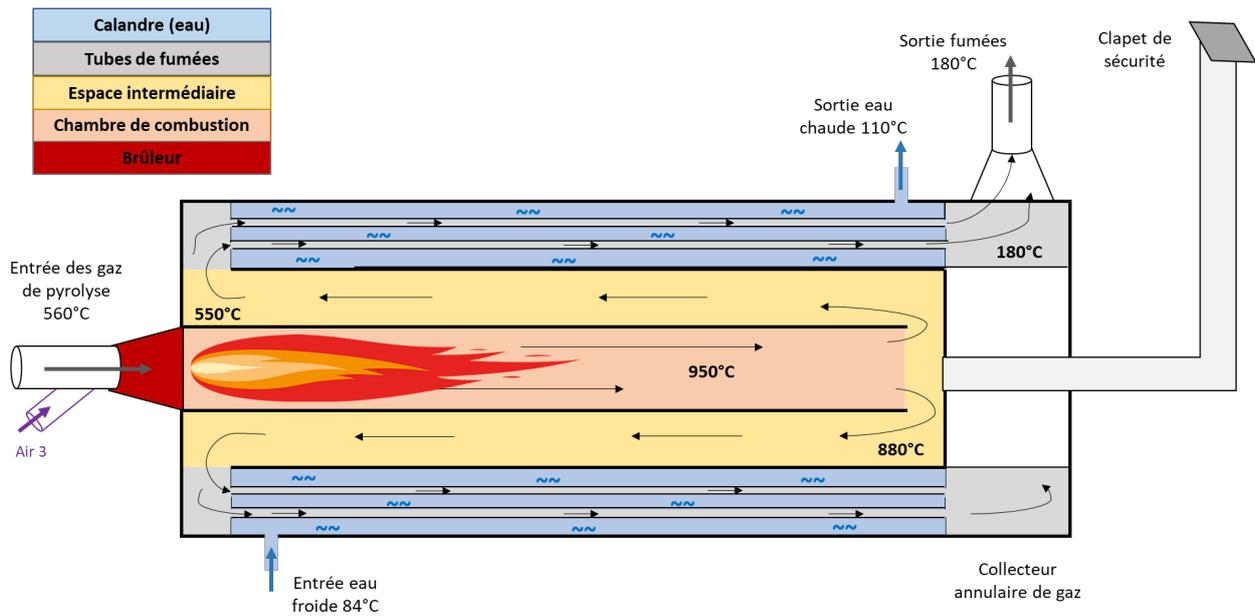


Figure 6. Schéma de principe de l'échangeur de chaleur fumées - eau

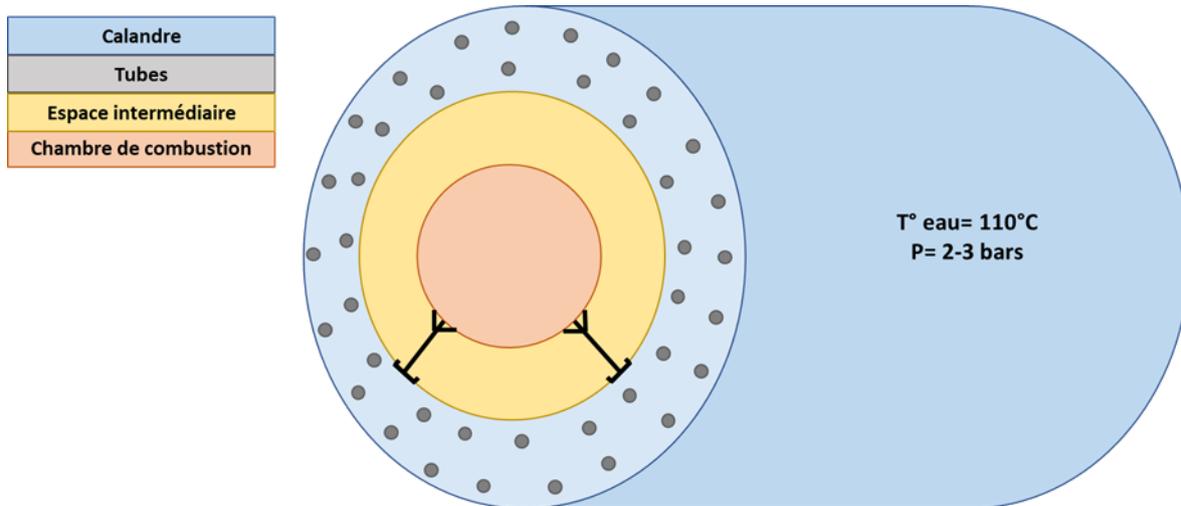


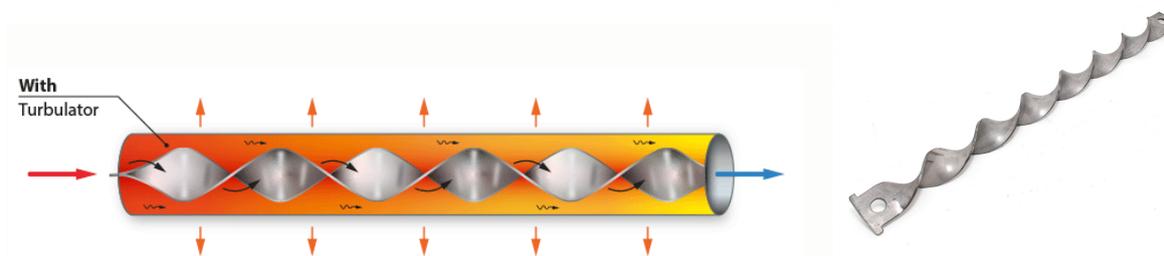
Figure 7. Vue en coupe de l'échangeur de chaleur

En entrée d'échangeur, un brûleur permet la combustion des gaz. Le brûleur est un cône à la base duquel de l'air (Air 3) est injectée tangentielle, de manière à provoquer un tourbillon assurant un bon mélange de l'air avec les gaz de pyrolyse. Le brûleur doit également disposer d'un piquage de 30 mm de diamètre, muni d'un bouchon facilement démontable, permettant d'introduire un dispositif d'allumage des gaz au démarrage de la chaudière (chalumeau ou bougie). Les températures dans le brûleur et à l'entrée de la chambre de combustion peuvent atteindre 1000 à 1100°C. Cette zone devra donc être protégée par un béton réfractaire.

La flamme de gaz de pyrolyse se développe dans une chambre de combustion cylindrique horizontale, montée à l'intérieur de l'échangeur. En bout de chambre de combustion, les fumées repassent en sens inverse le long de sa paroi extérieure, dans un espace qu'entoure la virole interne de l'échangeur. La virole de la chambre de combustion forme un écran thermique au rayonnement entre la flamme et la paroi interne de l'échangeur ; il

permet de maintenir une température de combustion plus élevée et réduire les imbrûlés gazeux. Il s'agit d'une pièce d'usure qui pourra être changée lorsque nécessaire. La chambre de combustion devra être supportée, pour compenser le porte-à-faux, par des pieds fixés à sa paroi extérieure et reposant sur la virole interne de l'échangeur de manière à ne pas subir de contrainte lors de la dilatation thermique.

Une fois cette zone parcourue, les fumées traversent l'échangeur composé de 40 tubes de fumées de diamètre intérieur 36 mm et 1,4 m de longueur disposés en deux rangées, logés entre deux viroles de diamètres respectifs 520 et 750 mm. La calandre est remplie d'eau à chauffer. A la sortie des tubes, un collecteur de fumées de forme annulaire permet d'orienter le flux de fumées refroidies vers le ventilateur d'extraction pour être évacuées à la cheminée. Des turbulateurs sont disposés à l'intérieur des tubes pour optimiser l'échange thermique entre les fumées et l'eau. Ils consistent en des pièces métalliques torsadées centrées dans les tubes provoquant des turbulences dans l'écoulement des fumées. Ce sont des pièces d'usure. Ce dispositif est présenté en Figure 8.



**Figure 8. Dispositif de turbulateurs au sein d'un tube dans lequel circule le fluide chaud et photo d'un turbulateur (à droite)**

Afin de permettre le refoulement des fumées en cas d'explosion ou de surpression, un clapet de sécurité doit être installé. Ce clapet sera monté sur un tube de diamètre 200 mm communicant avec la zone de combustion et sa sortie doit être verticale et suffisamment haute pour être loin des opérateurs. Il doit être étanche à l'air et ne s'ouvrir qu'en cas de surpression.

Enfin, l'échangeur doit pouvoir être inspecté et ramoner facilement. Des portes ou trappes étanches en parties avant et/ou arrière doivent être prévues pour permettre un accès aux tubes et à la chambre de combustion. Ces dispositions servent notamment à vérifier l'état des turbulateurs et les changer si besoin.

L'échangeur doit être isolé thermiquement sur sa virole extérieure et en ses extrémités (autour du tube de la soupape).

En régime nominal, la calandre de l'échangeur ainsi que tout le circuit d'eau chaude à une température de 110°C et une pression de 2 bars relatifs (3 bars absolus). **Le débit d'eau sera entre 3 et 5 m<sup>3</sup>/h.**

Un test d'étanchéité sera effectué à une pression de 4 bars relatifs (5 bar abs.)

**Des schémas côtés de la chaudière sont fournis en Annexe 1.3.**

## 4 INSTRUMENTATION ET CONTROLE/COMMANDE

**Un diagramme d'instrumentation et de tuyauterie (PID) est fourni en Annexe 2.** Il s'agit d'une proposition qui pourra être amendé par la soumissionnaire ;

### 4.1 Instruments et capteurs

L'installation est munie de divers capteurs de mesures pour le suivi des conditions de fonctionnement, la régulation et la sécurité. La liste des capteurs est donné dans le Tableau 1. Les capteurs de température et de pression, montés dans des piquages soudés au réacteur ou à la chaudière et affleurent la surface interne.

Les capteurs de pression différentielle doivent être équipés d'une vanne d'isolement pour les protéger d'éventuels reflux de gaz sales.

L'ensemble des données mesurées devront être affichées au niveau du tableau de commande.

**Tableau 1. Liste des capteurs**

Capteurs	Description	Plage de mesure
T-1 à T-8	Températures du circuit de combustion (air, gaz, fumées). Thermocouples type K.	0 – 1300°C
T-9 à T-12	Températures d'eau. Thermocouples ou PT100	0 – 200 °C
PD-1 et 2	Pressions différentielles du circuit de fumées	0 – 3000 Pa
P-3	Pression de la chaudière	0 – 5 bar g
F-1	Débit d'eau	0 – 10 000 L/h
LSL-1 et LSH-1	Détecteur de niveau de biomasse. Par exemple, à palette rotative.	
O2-1	Capteur d'oxygène des fumées. Par exemple, sonde lambda	0 – 15% d'O2

## 4.2 Boucles de régulation/contrôle, sécurités et alarmes

### Régulation

Deux boucles de régulations PID doivent être implémentées :

- Le débit d'air 3 doit être régulé, via la vanne de régulation VA-3, pour maintenir une teneur en oxygène des fumées constante entre 8 et 10% (capteur O2-1).
- La vitesse du ventilateur de tirage (extracteur de fumées) doit être régulé via un variateur de fréquence pour maintenir une température de chaudière constante à 110°C. Le ventilateur est accéléré pour augmenter la puissance lorsque la température d'eau est inférieure à la consigne, et inversement.

Le convoyeur à vis d'alimentation de biomasse est piloté par les détecteurs de niveau haut et bas de la trémie (LH-1 et LL-1). Le moteur de la vis démarre lorsque le niveau bas est atteint et s'arrête lorsque le niveau haut est atteint.

### Sécurité

La pression nominale de fonctionnement de la chaudière est de 2 bar g (3 bar abs). Si la pression est trop faible, il y a un risque de vaporisation de l'eau car la température de fonctionnement est supérieure à 100°C. A l'inverse, si elle est trop élevée, le risque est d'endommager l'échangeur ou le circuit d'eau. Pour prévenir ces risques des boucles de sécurité et alarmes sont nécessaires :

- **Une boucle de sécurité** par le pressostat PS-1 empêche le démarrage du ventilateur de tirage en cas de manque d'eau dans la chaudière : pression inférieure à 1,3 bar g.
- **Une soupape de sécurité** se déclenche en cas de pression supérieure à 2,4 bar g dans la chaudière.

- **Les alarmes sonores et visuelles :**
  - Une alarme lorsque la température d'eau de chaudière T-9 dépasse 115 °C.
  - Deux alarmes sur le niveau de pression dans la chaudière : seuil haut à 2,2 bar g, seuil bas à 1,5 bar g.
  - Une alarme lorsque T-1 dépasse 450°C
  - Une alarme lorsque T-6 dépasse 900°C

Ces niveaux seront à confirmer/valider après tests de démarrage.

### 4.3 Interface opérateur

L'interface opérateur permet :

- De visionner les valeurs importantes au suivi du fonctionnement de l'installation
- De contrôler certains paramètres opératoires

**Au niveau du visionnage** nous préconisons un affichage sur l'armoire de contrôle de l'ensemble des mesures. L'affichage pourrait se faire, soit avec de simples afficheurs positionnés sur un schéma de l'installation, soit sur un écran LCD.

**L'enregistrement des mesures et leur transmission** à distance (GSM/4G) sera proposée en option dans l'offre.

**Au niveau du contrôle**, l'opérateur doit pouvoir, sur l'armoire, réaliser les actions suivantes

- Régler les valeurs de consigne des boucles de régulation PID, à savoir température de l'eau de chaudière T-10 et la teneur en O<sub>2</sub> des fumées ;
- Prendre le contrôle manuel de la vanne VA-3 et du ventilateur de tirage
- Démarrer/arrêter le pompe de circulation d'eau
- Démarrer/arrêter le ventilateur du radiateur de dissipation
- Démarrer/arrêter manuellement le moteur de la vis d'alimentation de biomasse

## 5 EQUIPEMENTS SPECIFIQUES

### 5.1 Le ventilateur de tirage (extracteur de fumées)

L'extracteur est un élément clé de l'installation. Il permet de mettre en dépression l'ensemble du système et d'aspirer les airs par les piquages prévus (Air 1, Air 2, et Air 3). **Ce ventilateur sera fourni par le maître d'œuvre.**

Il sera muni d'un variateur de fréquence, **à fournir par le soumissionnaire**, qui permet de piloter la puissance de la chaudière en fonction de la demande du séchoir.

**L'Annexe 3** présente la documentation technique de l'extracteur fourni. Il s'agit du modèle HPB 40-300.

### 5.2 Le radiateur

Nous préconisons l'installation **d'un radiateur** permettant d'évacuer au moins 30 kW pour un débit d'eau de 5000 l/h.

Il est utilisé dans le cas où la demande des séchoirs est inférieure à 15 kW.

Dans ce cas d'une faible demande, la vanne 3 voie du circuit d'eau est ouverte de manière faire circuler l'eau à travers le radiateur pour consommer l'énergie et abaisser la température de retour à la chaudière.

### 5.3 Le circulateur

Le circulateur d'eau chaude a les spécifications techniques suivantes :

- Débit d'eau minimum de 5000 l/h ;
- Pression maximale 3 bars
- Température : 120°C.

## Chaudière à coques d'anacarde

### ANNEXES au descriptif technique détaillé

<b>ANNEXE 1. SCHEMAS COTES DU REACTEUR ET DE LA CHAUDIERE .....</b>	<b>2</b>
1. Le réacteur de pyrolyse.....	2
2. Le convoyeur à vis (alimentation biomasse) .....	6
3. L'échangeur de chaleur .....	7
<b>ANNEXE 2. DIAGRAMME DE TUYAUTERIE ET D'INSTRUMENTATION (P&amp;ID) .....</b>	<b>9</b>
<b>ANNEXE 3. DOCUMENTATION DU VENTILATEUR D'EXTRACTION DE FUMEES.....</b>	<b>10</b>

## ANNEXE 1. SCHEMAS COTES DU REACTEUR ET DE LA CHAUDIERE

### 1. Le réacteur de pyrolyse

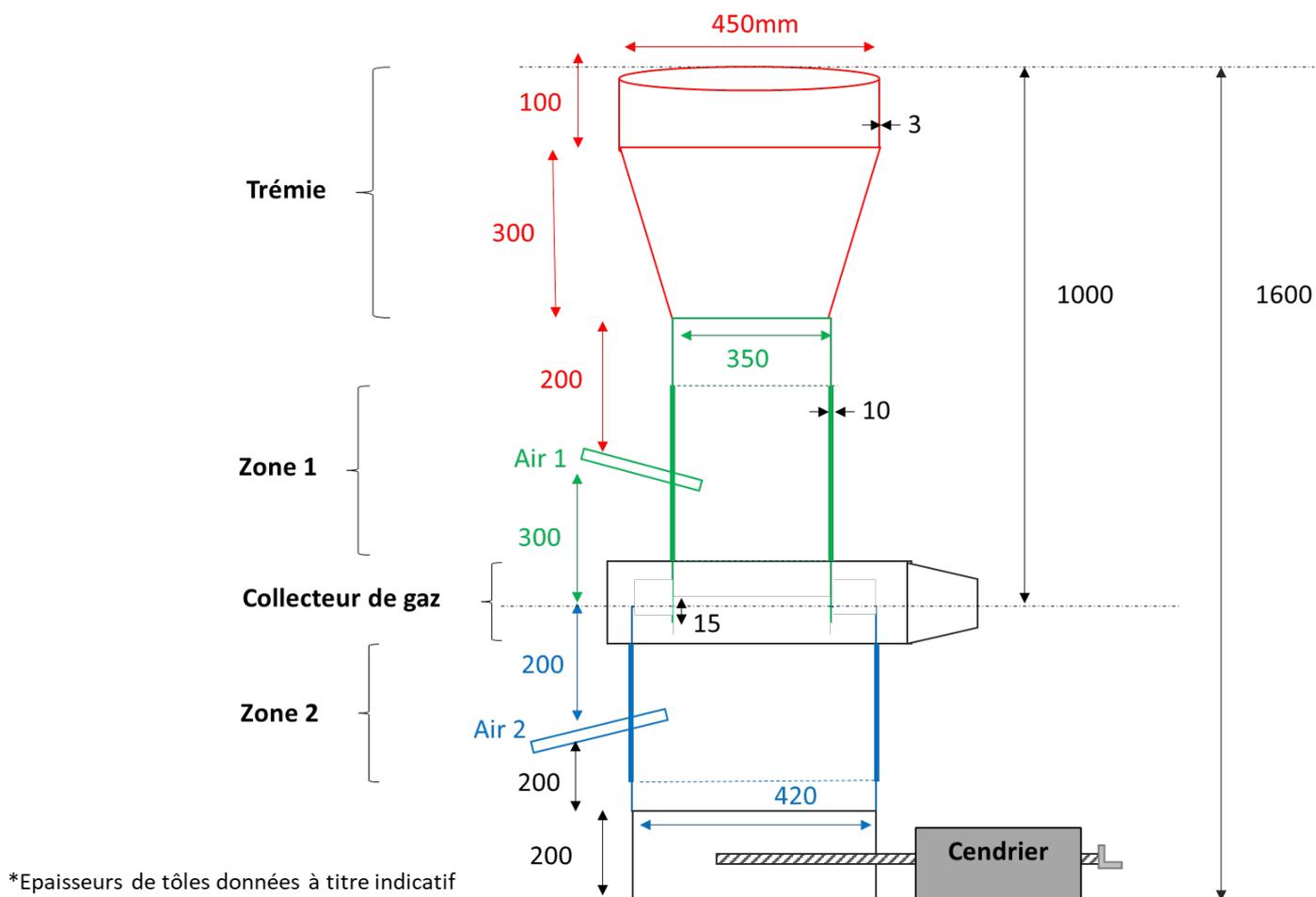
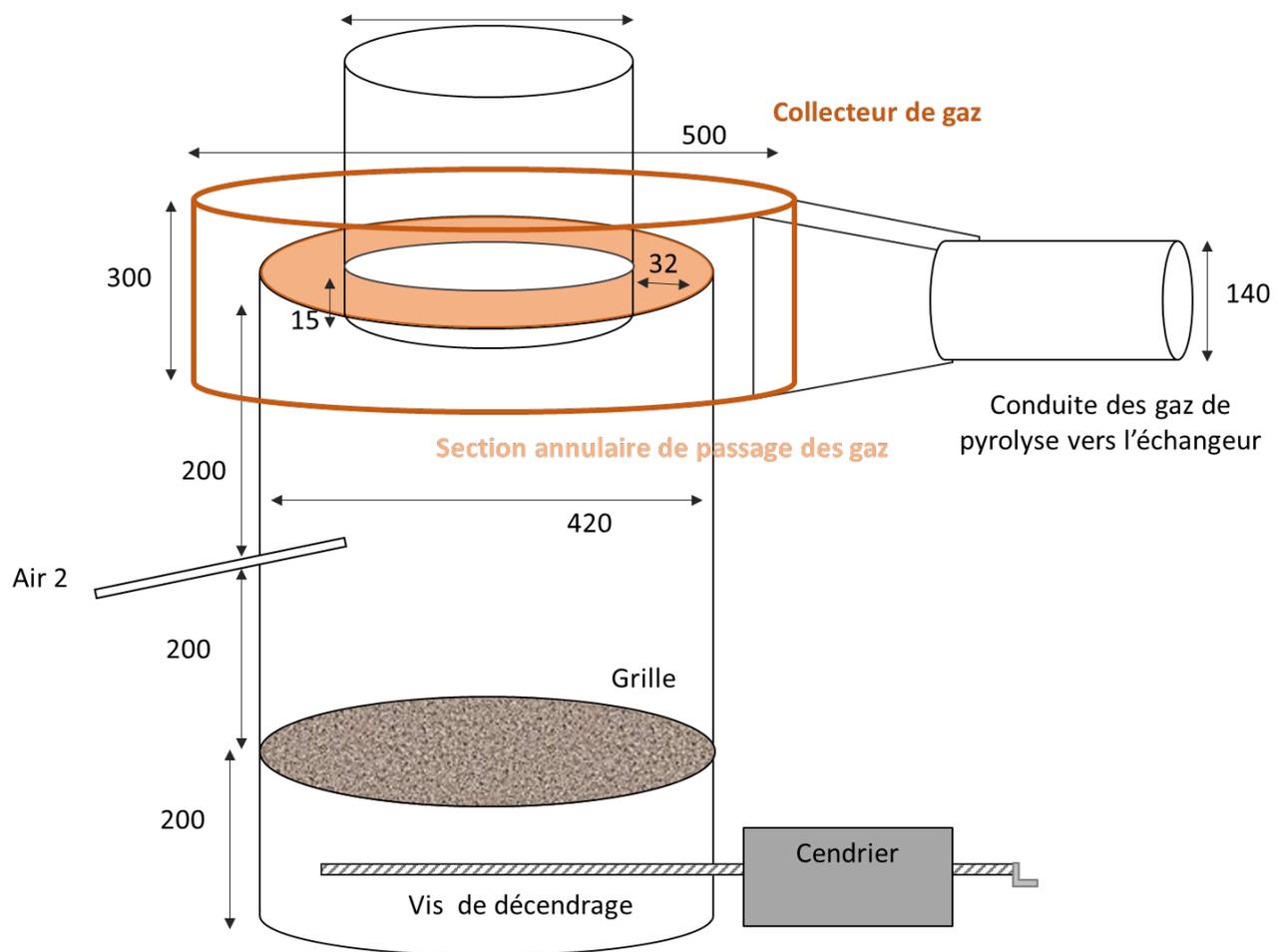


Figure 1 Plan détaillé du réacteur de pyrolyse, côtes en mm



**Figure 2 Plan détaillé du collecteur de gaz au sein du réacteur de pyrolyse, côtes en mm**

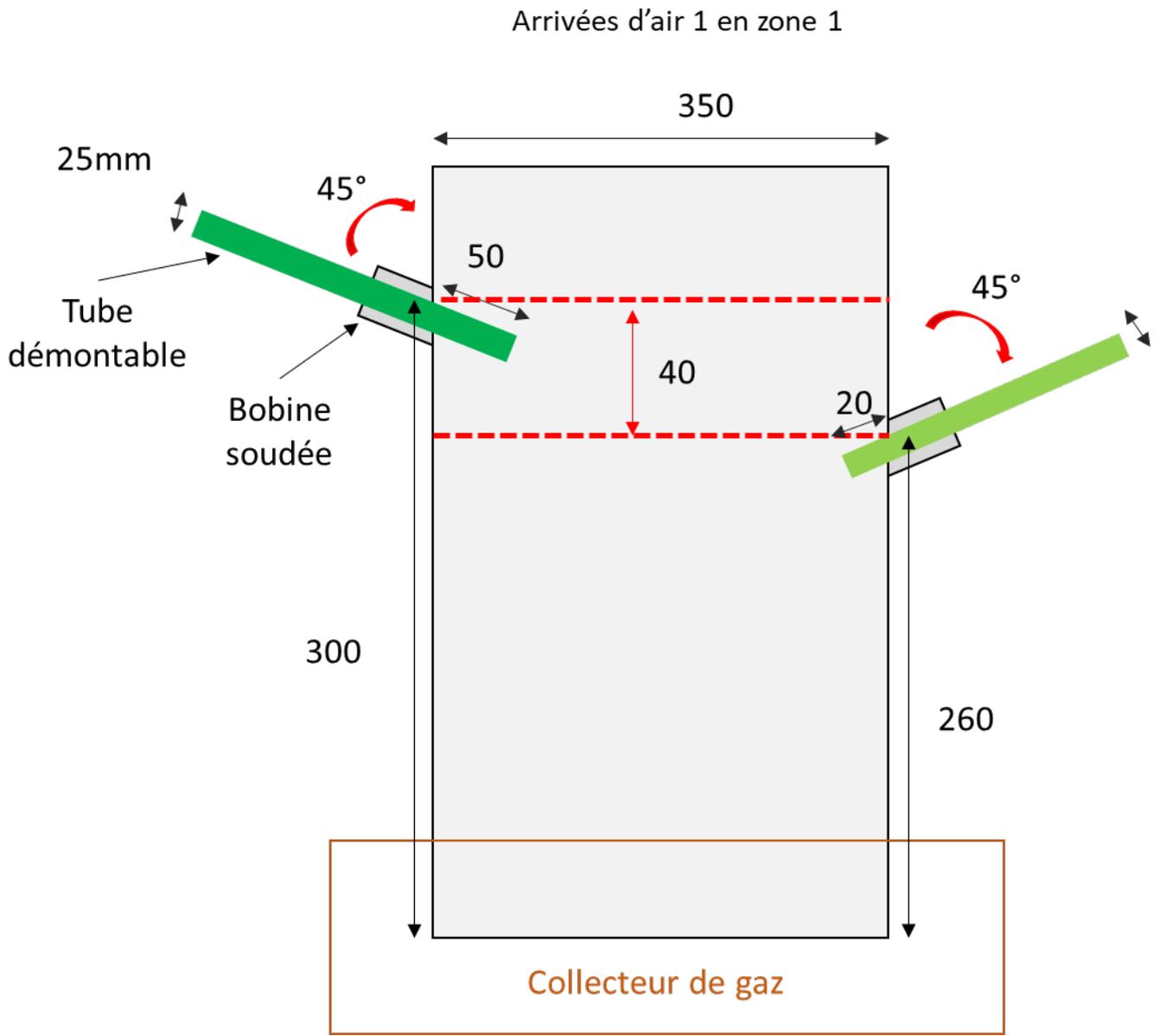


Figure 3 Plan détaillé des injections d'air 1, côtes en mm

Arrivées d'air 2 en zone 2

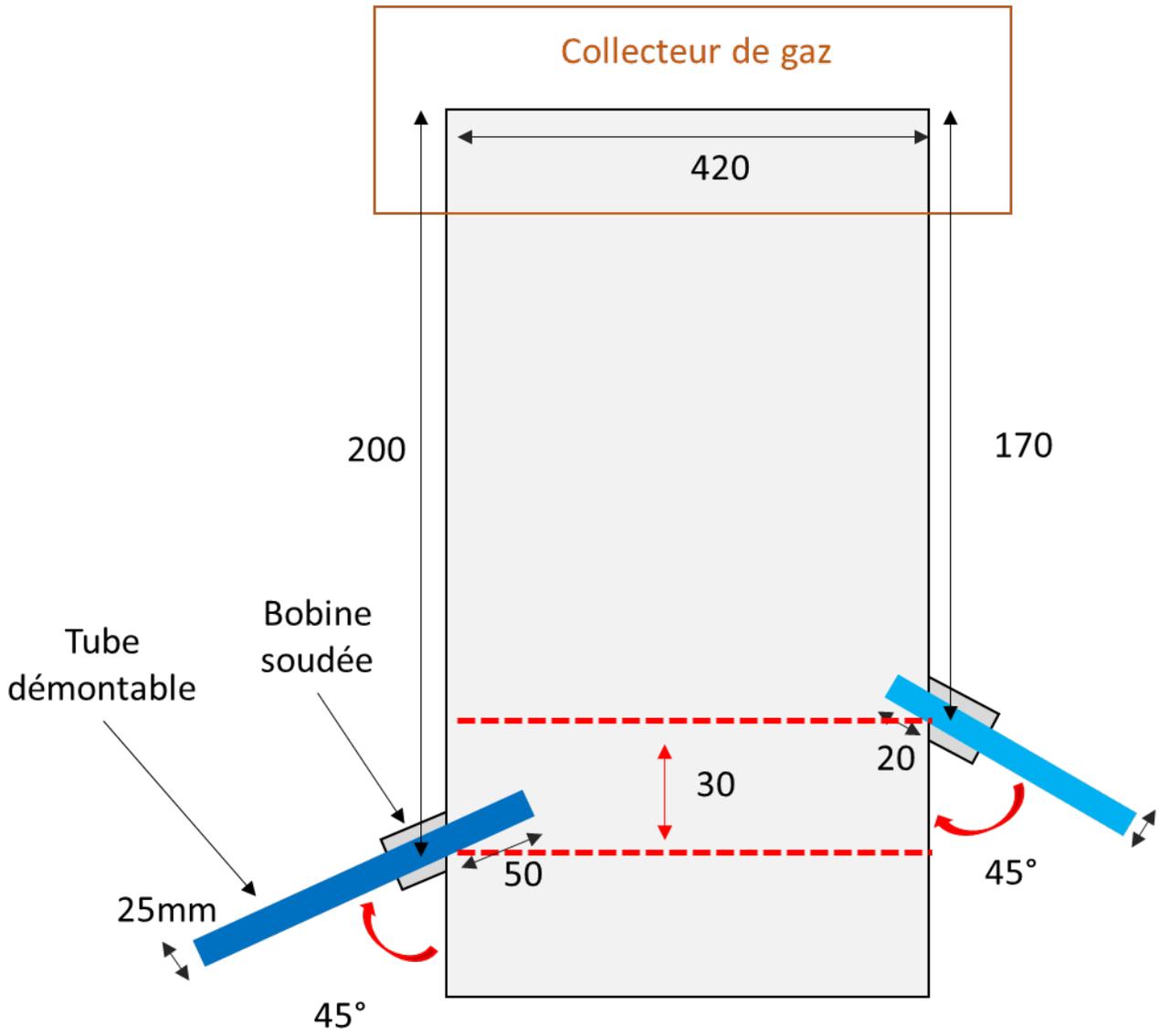


Figure 4 Plan détaillé des injections d'air 2, côtes en mm

## 2. Le convoyeur à vis (alimentation biomasse)

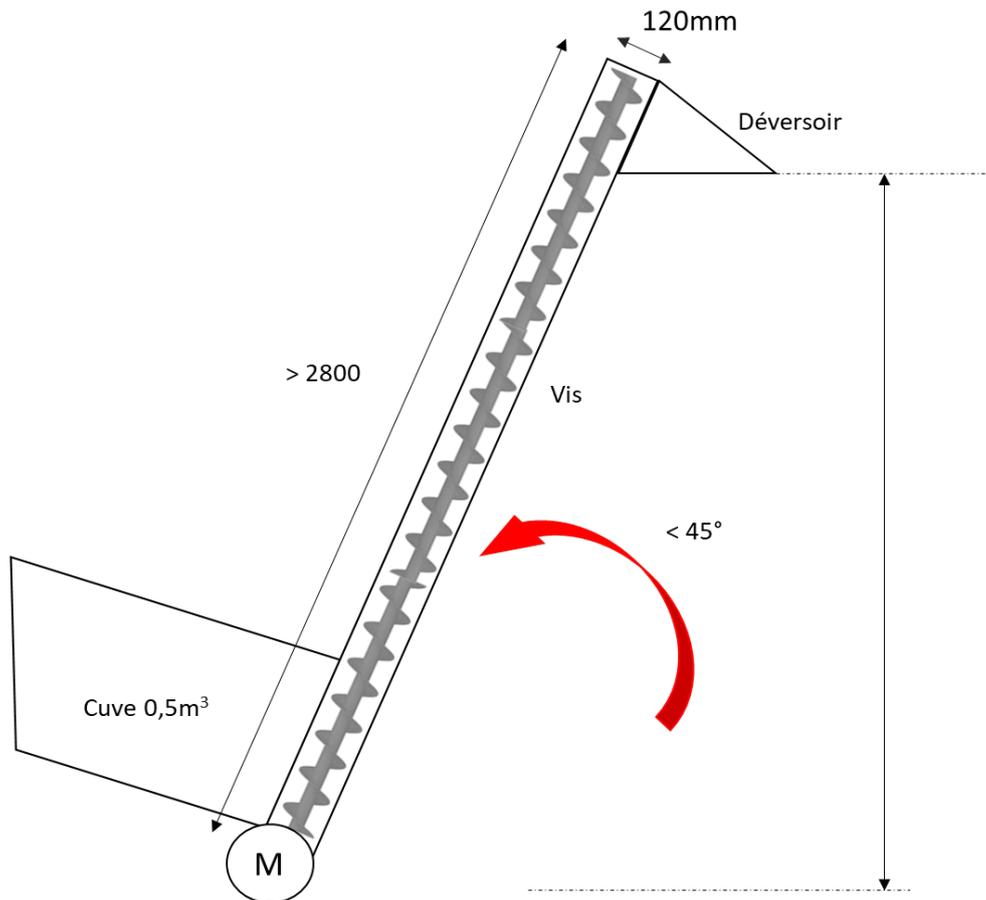


Figure 5 Plan indicatif du convoyeur à vis pour coques d'anacarde, côtes en mm

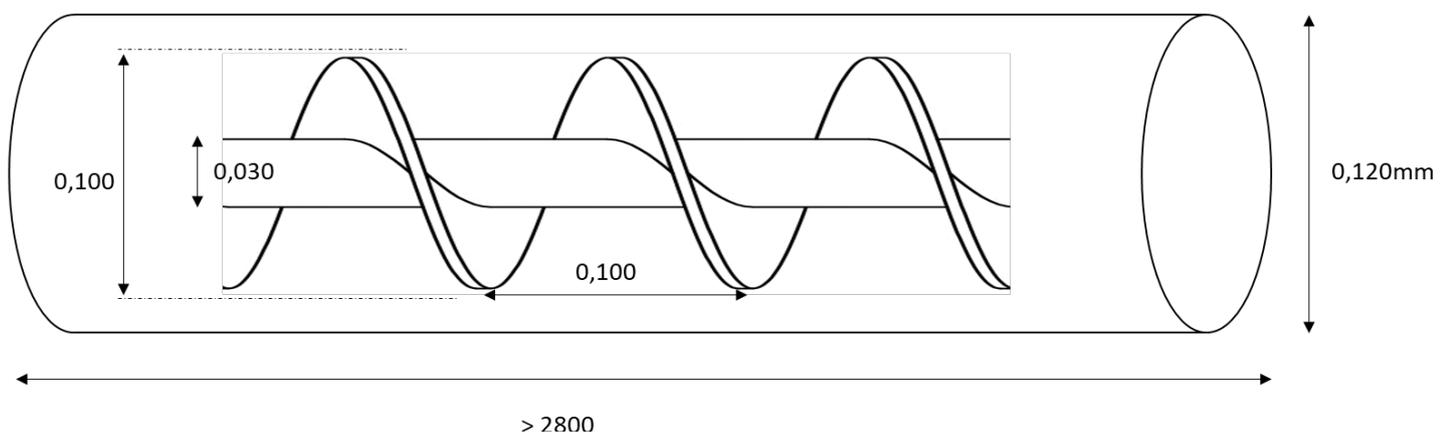
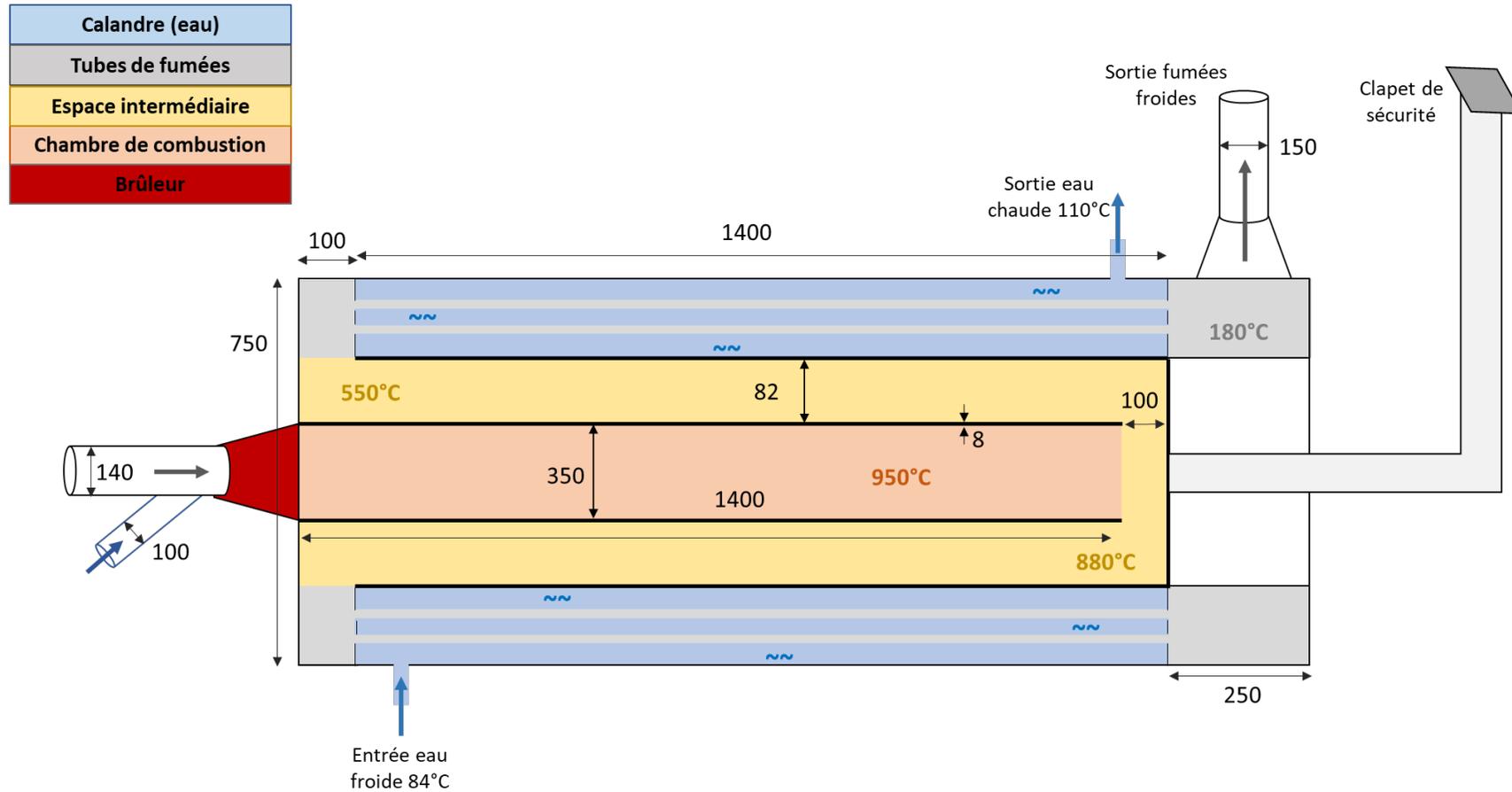


Figure 6 Dimensions de la vis du convoyeur pour de la coque d'anacarde, pour une vitesse de 75 rotations par minutes, côtes en mm

### 3. L'échangeur de chaleur



\*Epaisseurs de tôles données à titre indicatif

Figure 7 Schéma coté de l'échangeur de chaleur, côtes en mm

**Exemples de plans de l'échangeur de chaleur.**

6

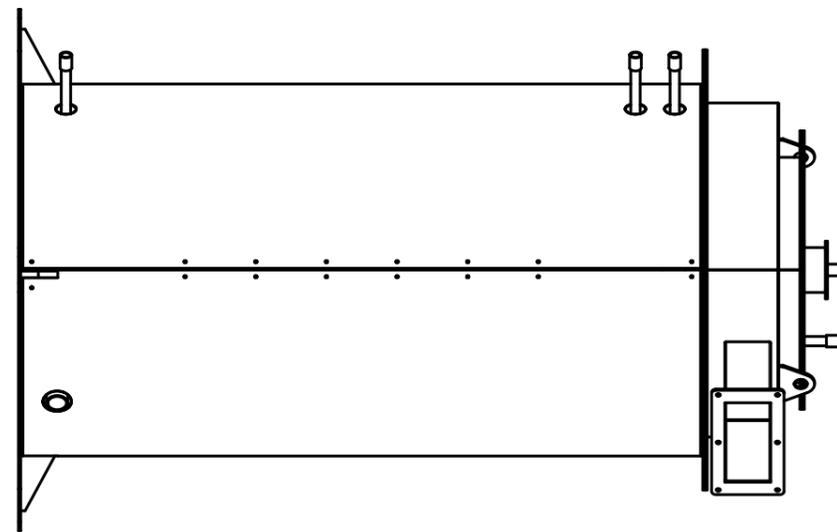
5

4

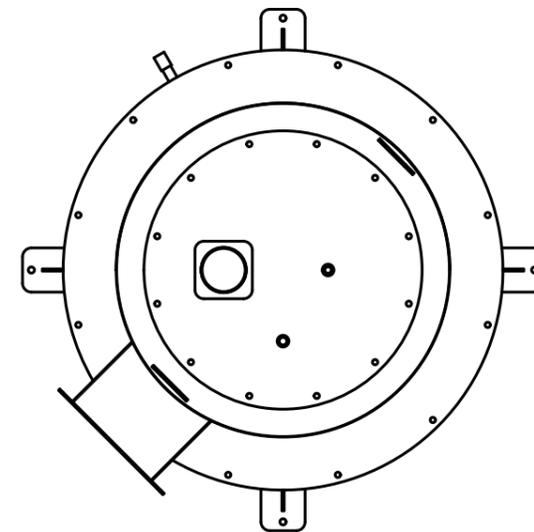
3

2

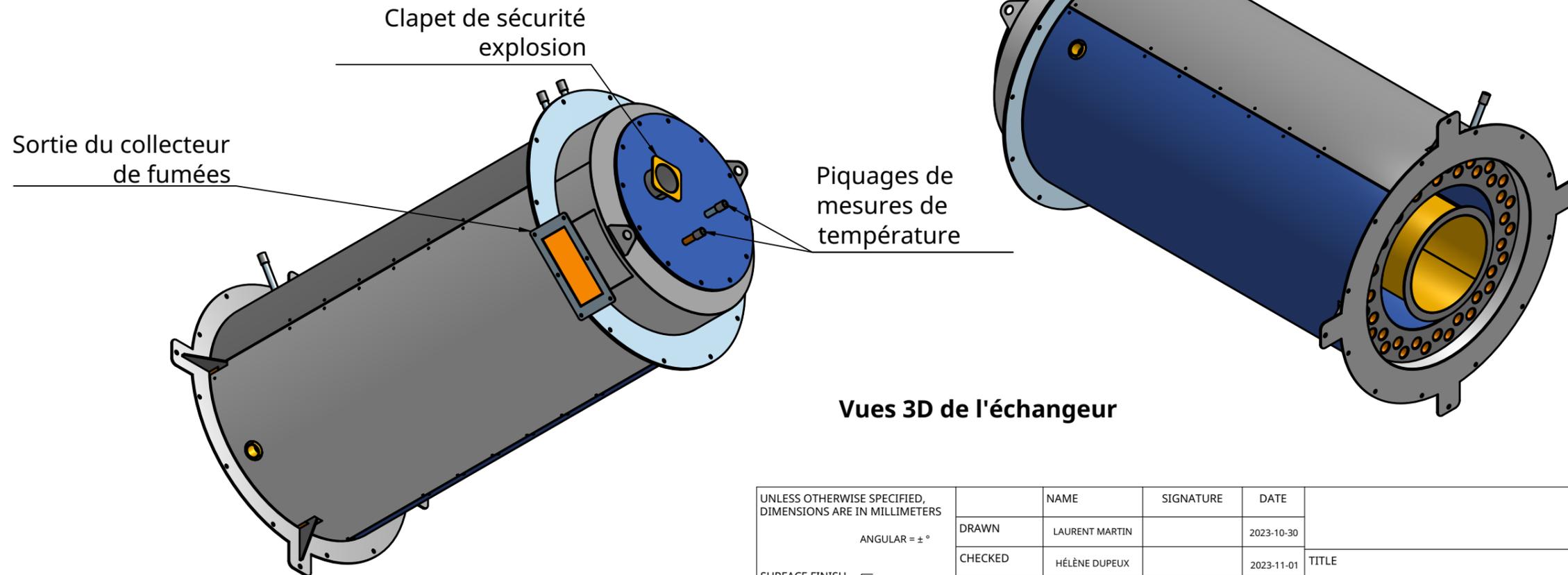
1



Echangeur de chaleur fumées - eau horizontal. le brûleur est disposé à son extrémité gauche



Vue de l'extrémité droite de l'échangeur, côté collecteur de fumées



Vues 3D de l'échangeur

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  ANGULAR = ± °  SURFACE FINISH   DO NOT SCALE DRAWING  BREAK ALL SHARP EDGES AND REMOVE BURRS  FIRST ANGLE PROJECTION  		NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE   SIZE <b>A3</b> DWG NO.  SCALE 1:16 WEIGHT SHEET 1 of 4
	DRAWN	LAURENT MARTIN		2023-10-30	
	CHECKED	HÉLÈNE DUPEUX		2023-11-01	
	APPROVED	ARNAUD CHAPUIS		2023-11-02	
	MATERIAL	FINISH		REV.	

6

5

4

3

2

1

D

D

C

C

B

B

A

A

6

5

4

3

2

1

# Vue éclatée de l'échangeur

D

D

C

C

B

B

A

A

Tôle de protection du calorifuges (isolation)

Collecteur de fumée

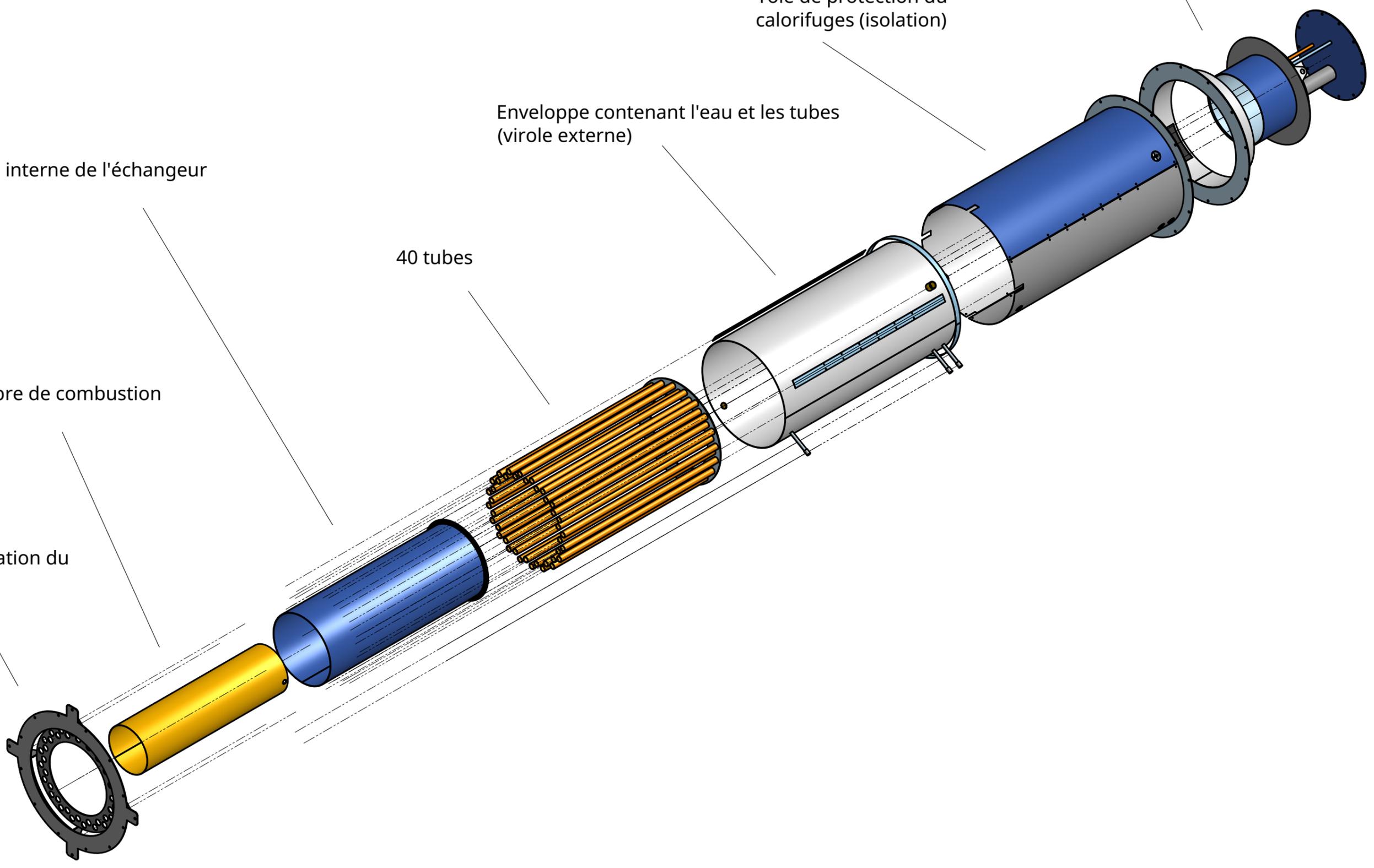
Enveloppe contenant l'eau et les tubes (virole externe)

Virole interne de l'échangeur

40 tubes

Chambre de combustion

Bride de fixation du brûleur



6

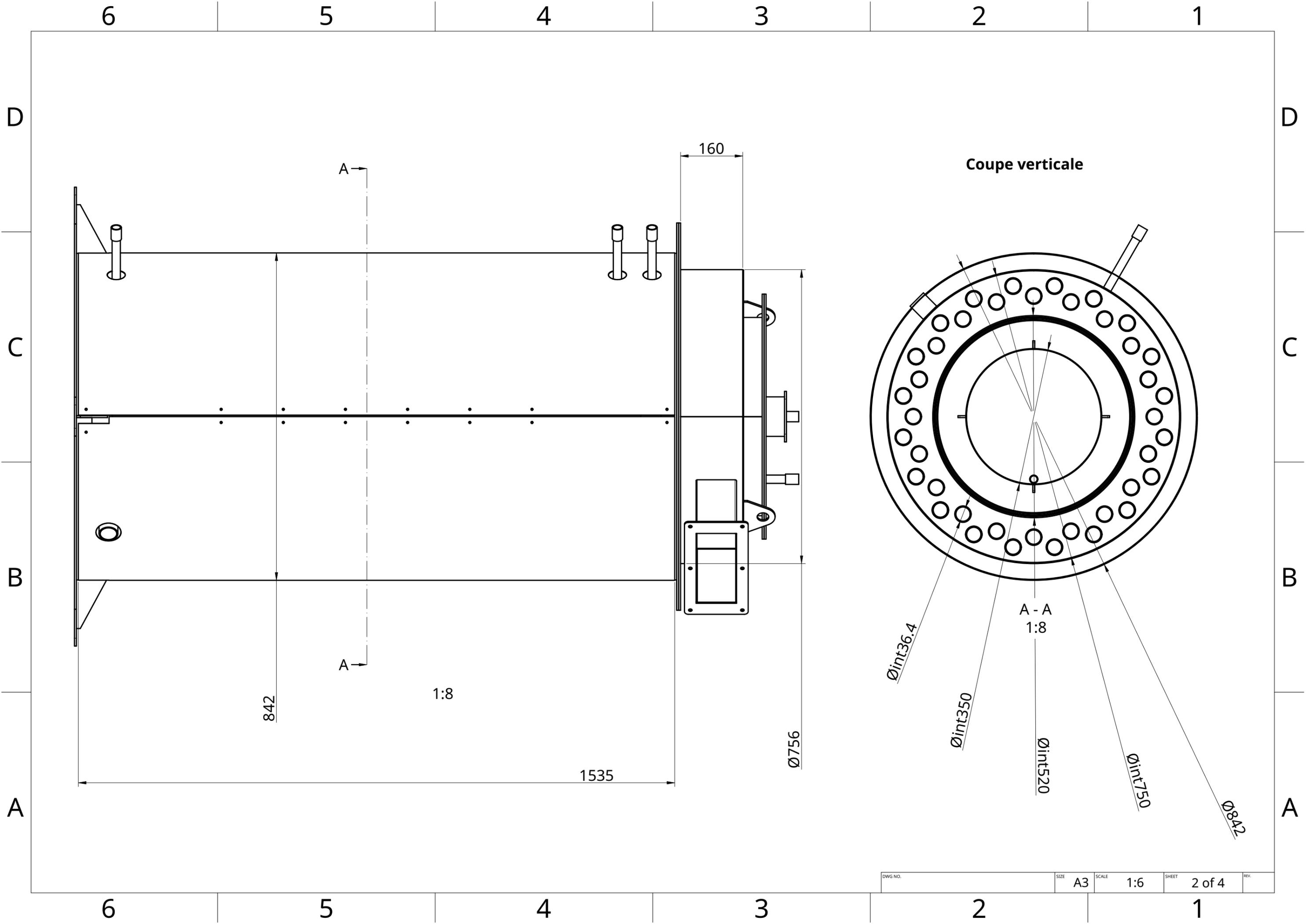
5

4

3

2

1



6

5

4

3

2

1

D

D

C

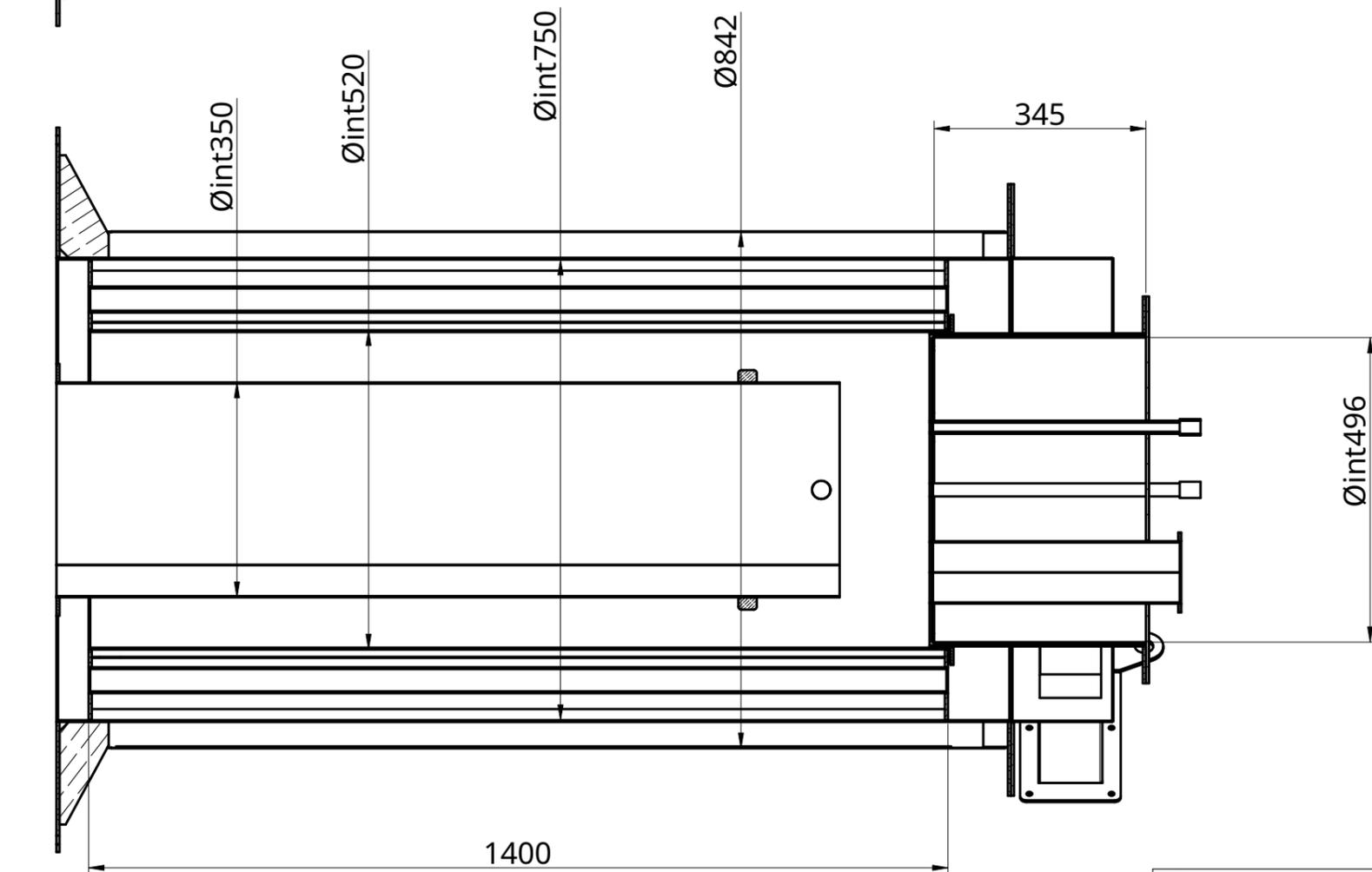
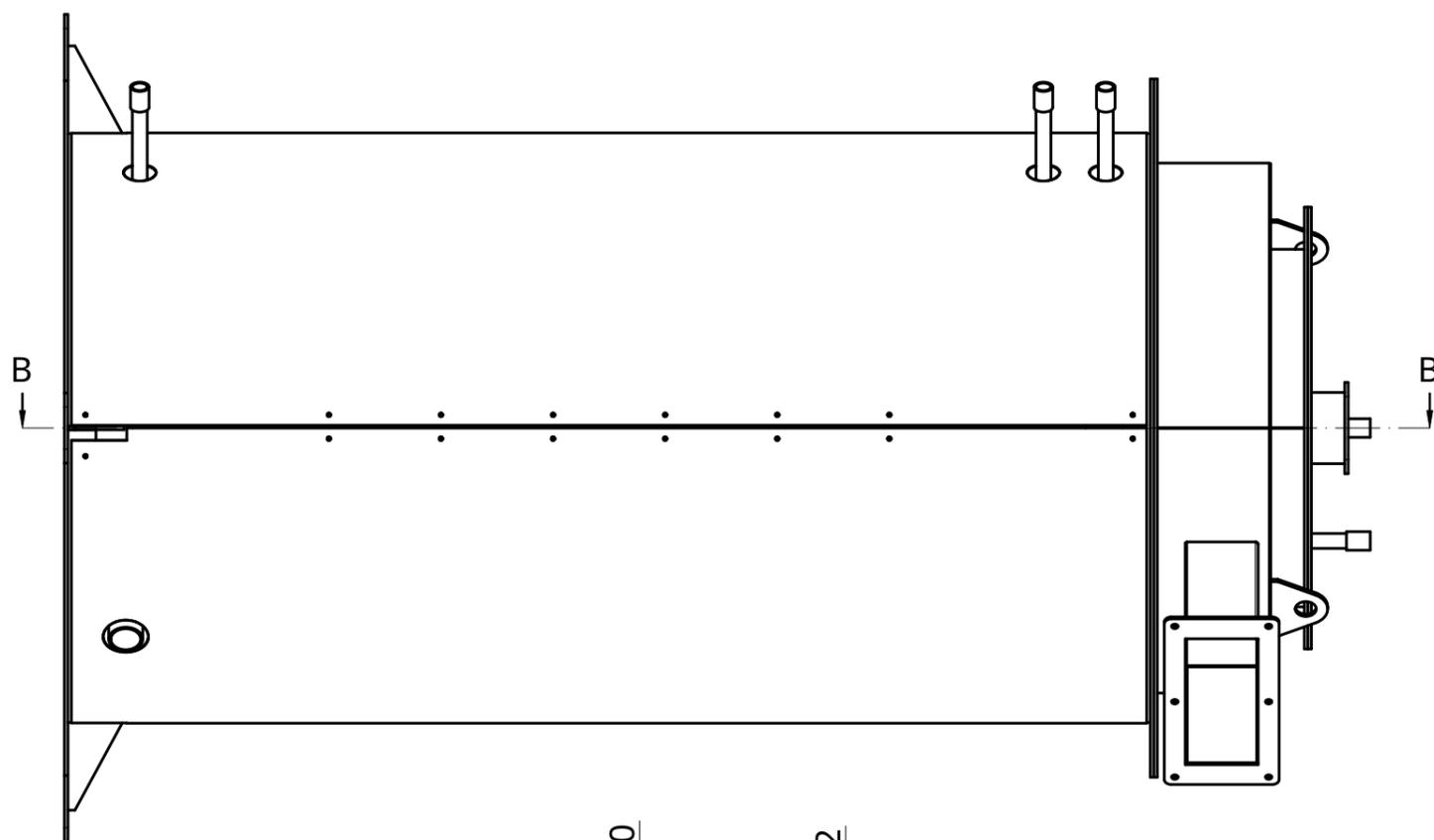
C

B

B

A

A



Coupe horizontale

DWG NO.

SIZE A3

SCALE 1:10

SHEET 3 of 4

REV.

6

5

4

B - B

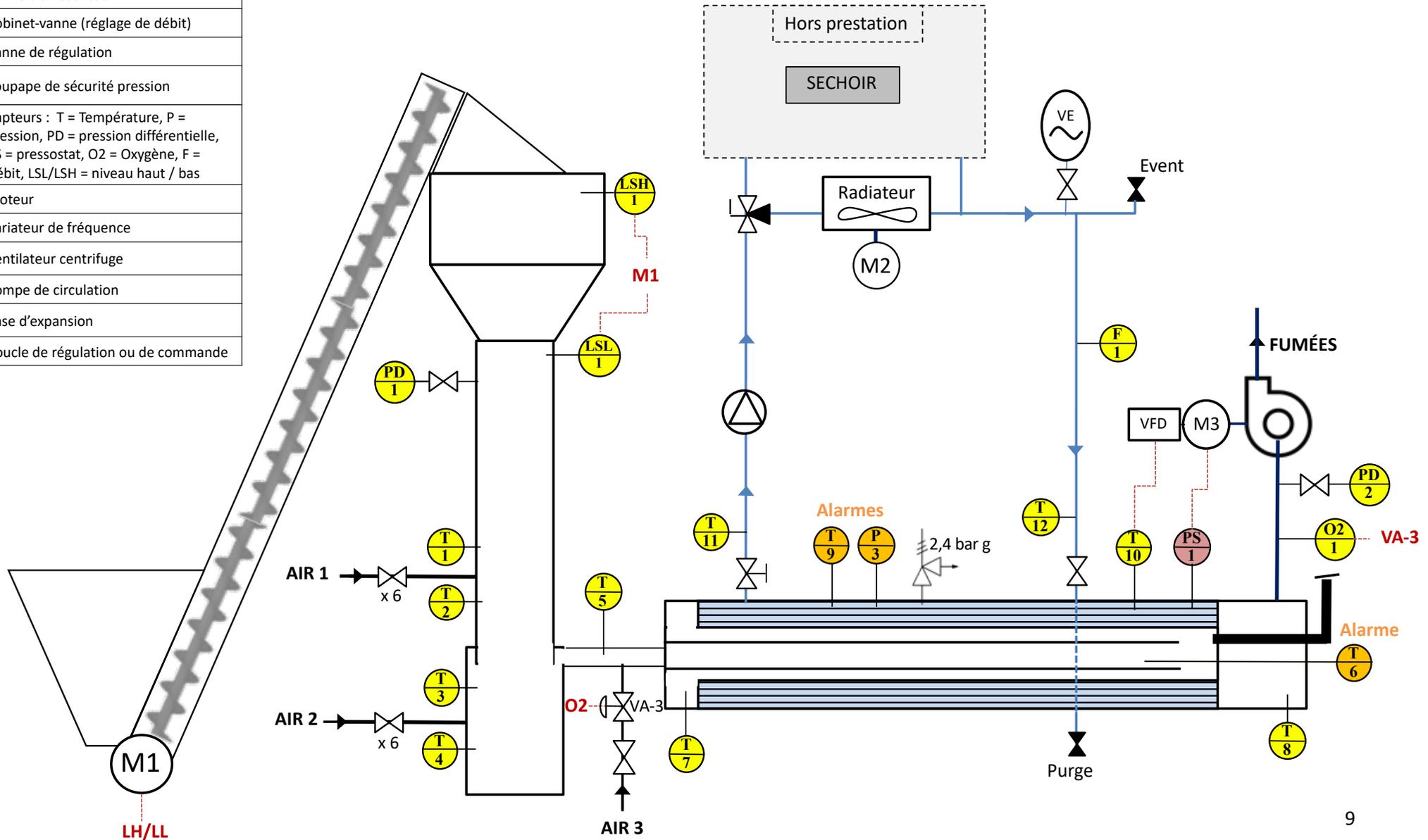
3

2

1

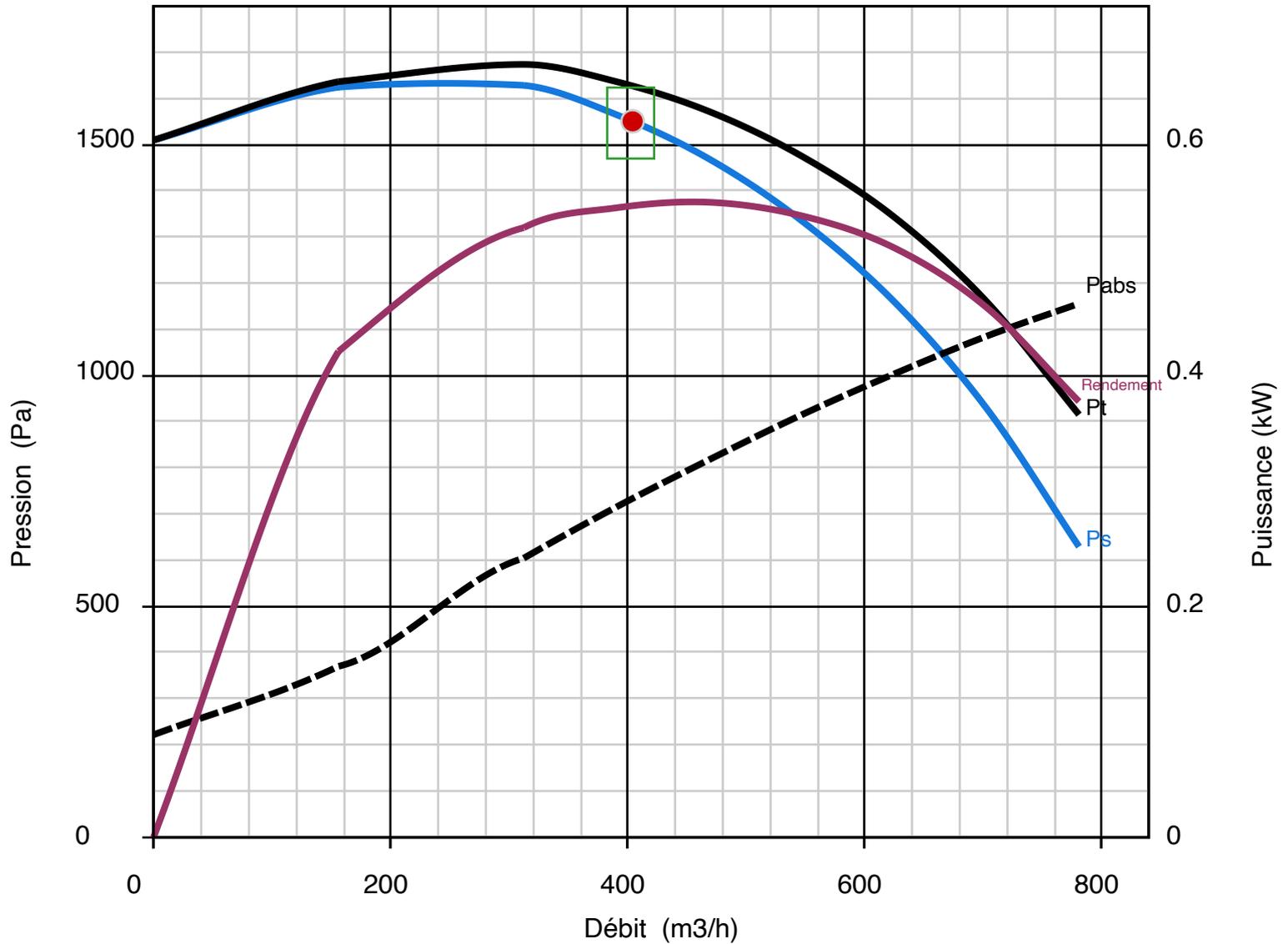
## ANNEXE 2. DIAGRAMME DE TUYAUTERIE ET D'INSTRUMENTATION (P&ID)

Symbole	Description
	Vanne 3 voies manuelle
	Vanne d'arrêt ¼ tour
	Robinet-vanne (réglage de débit)
	Vanne de régulation
	Soupape de sécurité pression
	Capteurs : T = Température, P = pression, PD = pression différentielle, PS = pressostat, O2 = Oxygène, F = Débit, LSL/LSH = niveau haut / bas
	Moteur
	Variateur de fréquence
	Ventilateur centrifuge
	Pompe de circulation
	Vase d'expansion
	Boucle de régulation ou de commande



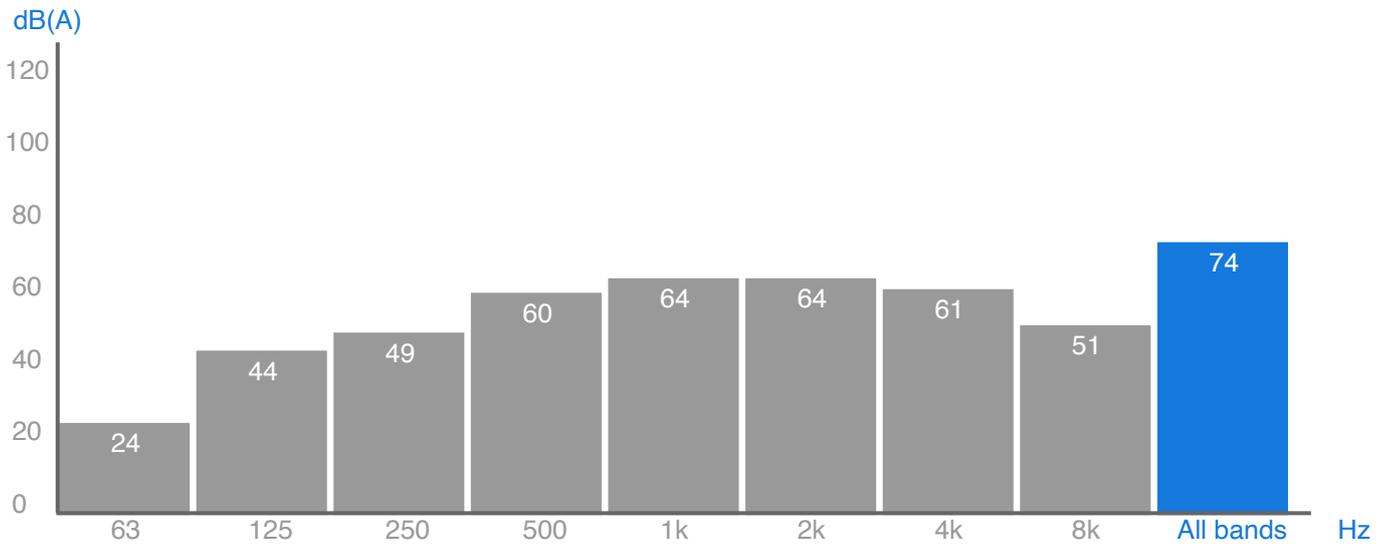
### **ANNEXE 3. DOCUMENTATION DU VENTILATEUR D'EXTRACTION DE FUMÉES**

# HPB40-300-2-0.55

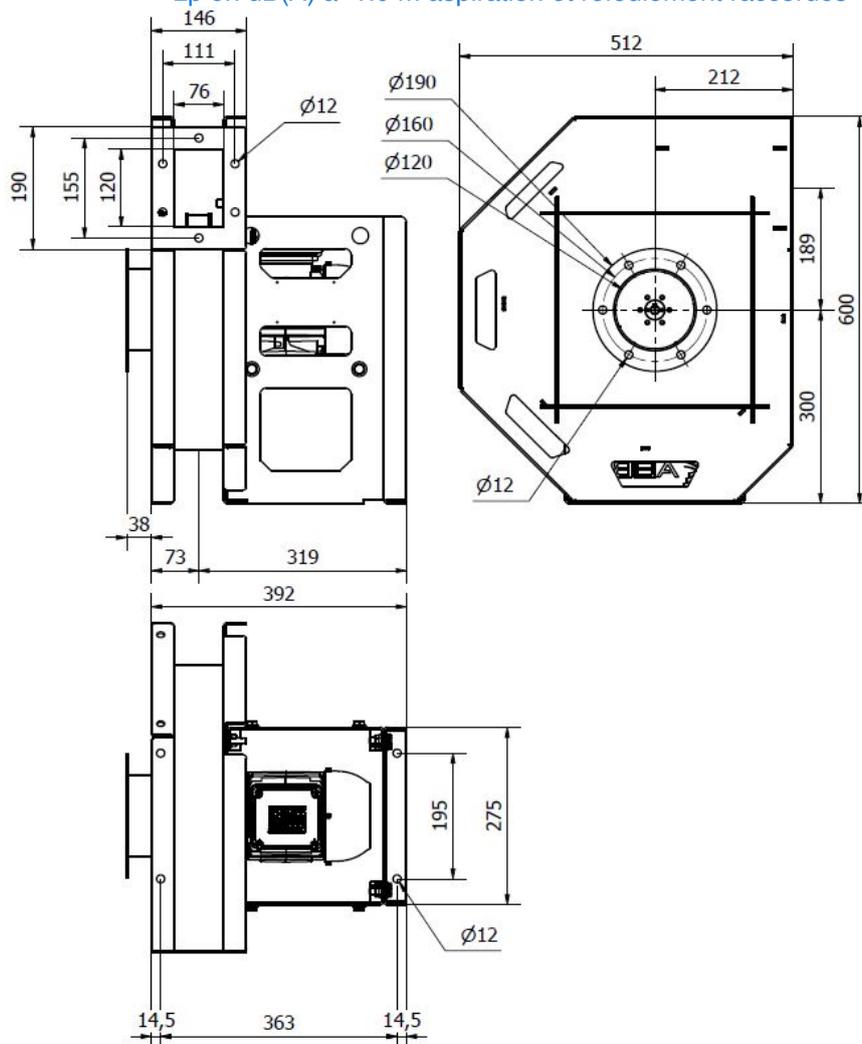


Puissance	0.29 kW	Densité	1.225 kg/m <sup>3</sup>
Pression totale	1617 Pa	Altitude	0 m
Pression dynamique	76 Pa	température	15°C
Pression statique	1541 Pa	Vitesse	3000 RPM
Débit	401 m <sup>3</sup> /h	Rendement	54 %

# HPB40-300-2-0.55



Lp en dB(A) à 1.0 m aspiration et refoulement raccordés



AEIB se réserve le droit de modifier sans préavis les caractéristiques de ses appareils.

Yves MARTINEZ

y.martinez@aeib.fr

0671047981