

SESSION 2023

---

**AGRÉGATION  
CONCOURS INTERNE  
ET CAER**

**Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR**

**Options :** sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique,  
sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie électrique,  
sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie des  
constructions.

**ANALYSE ET EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE  
D'UN SYSTÈME PLURITECHNOLOGIQUE**

Durée : 5 heures

---

*Calculatrice autorisée selon les modalités de la circulaire du 17 juin 2021 publiée au BOEN du 29 juillet 2021.*

*L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.*

*Il appartient au candidat de vérifier qu'il a reçu un sujet complet et correspondant à l'épreuve à laquelle il se présente.*

*Si vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, vous devez le signaler très lisiblement sur votre copie, en proposer la correction et poursuivre l'épreuve en conséquence. De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, vous devez la (ou les) mentionner explicitement.*

**NB :** Conformément au principe d'anonymat, votre copie ne doit comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé consiste notamment en la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de la signer ou de l'identifier.  
Le fait de rendre une copie blanche est éliminatoire.

**Tournez la page S.V.P.**

A

## INFORMATION AUX CANDIDATS

Vous trouverez ci-après les codes nécessaires vous permettant de compléter les rubriques figurant en en-tête de votre copie.

Ces codes doivent être reportés sur chacune des copies que vous remettrez.

### ► Concours interne de l'Agrégation de l'enseignement public :

#### **Option : sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAI	1414A	101	7809

#### **Option : Sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie électrique**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAI	1415A	101	7809

#### **Option : Sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie des constructions**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAI	1416A	101	7809

### ► Concours interne de l'Agrégation de l'enseignement Privé :

#### **Option : sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAH	1414A	101	7809

#### **Option : Sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie électrique**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAH	1415A	101	7809

#### **Option : Sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie des constructions**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAH	1416A	101	7809





## COMPOSITION DU SUJET

### **SUJET : Réseaux de chaleur urbains (RCU)**

Partie 1 : (Durée conseillée 2 heures)

Analyse énergétique, financière et environnementale des réseaux de chaleur existants et de leur interconnexion.

Partie 2 : (Durée conseillée 1 heure 30)

Vérification du dimensionnement de la distribution de l'énergie thermique de la chaufferie ECLA au regard de l'extension.

Partie 3 : (Durée conseillée 1 heure 30)

Recherche de solutions pour améliorer la disponibilité de la production de chaleur à partir de biomasse.

### **DOCUMENTS :**

DOSSIER TECHNIQUE (DT 1 à 21) – Documents relatifs au support de l'étude

DOSSIER RÉPONSES (DR 1 à 5) – Documents à compléter et à rendre par le candidat

Le sujet comporte trois parties indépendantes qui peuvent être traitées dans un ordre quelconque.

Toutes les réponses devront être détaillées sur copie et les résultats encadrés ou soulignés. Il sera nécessaire de préciser les unités des résultats numériques. Il sera tenu compte de la qualité de la rédaction et de la lisibilité de la copie.

Tous les documents réponses, remplis ou non, sont à rendre avec les copies.

## Schéma de transition énergétique et écologique de Clermont Auvergne Métropole

Clermont Auvergne Métropole a adopté le 30 mars 2018 un schéma de transition énergétique et écologique qui constitue une feuille de route pour la préservation des ressources naturelles et la lutte contre le changement climatique.

Dans ce contexte, le bois-énergie constitue une ressource renouvelable et locale (taux de boisement de la région Auvergne : 28,6%). Afin de limiter la pollution atmosphérique, des chaufferies biomasse couplées à des réseaux de chaleur ont été retenues.

### Réseaux de chaleur urbains (RCU) de Clermont Auvergne Métropole

Un réseau de chaleur urbain (figure 1) est un chauffage central à l'échelle d'un territoire, qui comprend :

- une ou plusieurs unités de production de chaleur ;
- un réseau de distribution primaire sous-terrain dans lequel la chaleur est transportée par un fluide caloporteur ;
- un ensemble de sous-stations d'échange, à partir desquelles les bâtiments sont desservis par un réseau de distribution secondaire en eau chaude basse température.

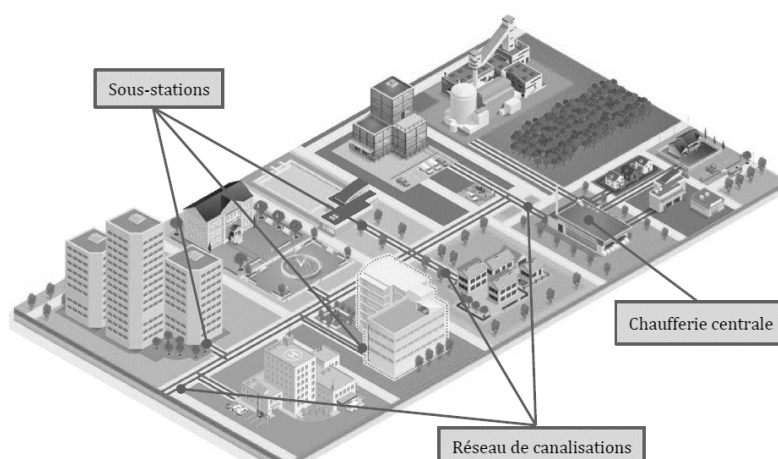


Figure 1 : Schéma de principe d'un réseau de chaleur

En 2021, il existait deux réseaux de chaleur clermontois :

- le réseau ECLA (figure 2) ;
- le réseau CLERVIA.

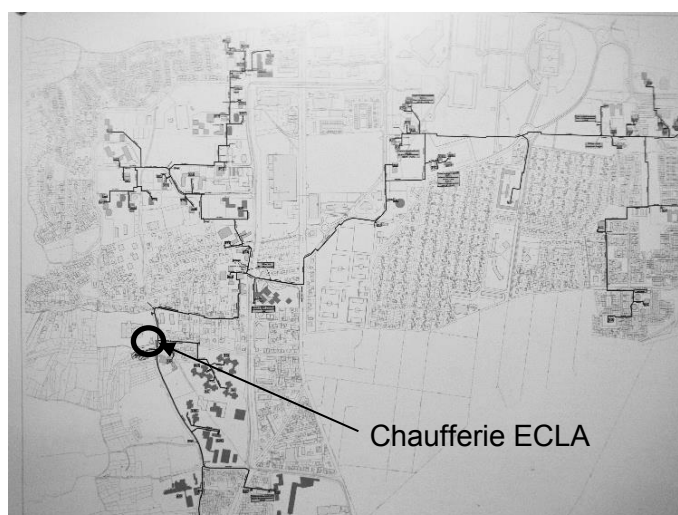


Figure 2 : Vue du réseau ECLA (source ECLA)

Ces deux réseaux profitent à 8 000 « équivalents-logements » avec une production d'environ 80 GWh. L'équivalent-logement est une unité de quantité d'énergie qui caractérise la consommation moyenne d'un logement.

Fin 2022 :

- les réseaux ECLA et CLERVIA sont étendus de 15 km et interconnectés afin de raccorder 12 000 « équivalents logements » ;
- deux sites industriels sont connectés aux réseaux ECLA et CLERVIA.

Des actions sont menées sur les deux réseaux de chaleur pour respecter les exigences synthétisées dans le document [DT1].

La figure ci-dessous (figure 3) synthétise les évolutions sur les réseaux ECLA et CLERVIA.





			
Création du réseau de chaleur ECLA et de la chaufferie bois du réseau CLERVIA	Adoption du schéma directeur des réseaux de chaleur clermontois	Connexion des réseaux ECLA et CLERVIA	Connexion des deux sites industriels au réseau de chaleur ECLA

Figure 3 : Historique de l'évolution des réseaux de chaleur ECLA et CLERVIA (source Clermont Auvergne Métropole)

### La chaufferie du réseau de chaleur ECLA

En 2010, une société a été retenue pour créer et exploiter durant vingt-cinq ans le réseau de chaleur bois ECLA qui assure le chauffage des quartiers Croix-de-Neyrat (figure 4 et figure 5), de Champratel et des Vergnes. Le réseau a été mis en service en octobre 2013.



Figure 4 : La chaufferie ECLA du quartier de la Croix-de-Neyrat (Source Google Maps Sat)

Le document [DT2] présente les caractéristiques du réseau ECLA en 2019.

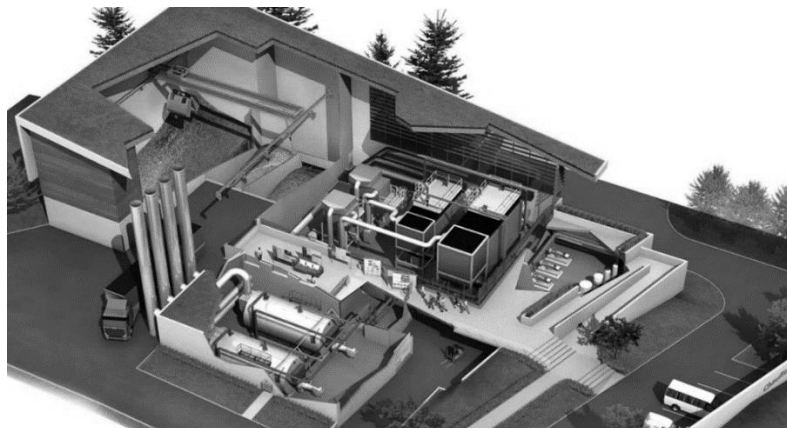


Figure 5 : Vue 3D de la chaufferie ECLA (Source ECLA)

## La chaufferie du réseau de chaleur CLERVIA

La chaufferie de la Gauthière (figure 6) est exploitée en délégation de service.



Figure 6 : Chaufferie CLERVIA du quartier de la Gauthière (Source Google Maps)

Le document [DT3] présente les caractéristiques du réseau CLERVIA en 2019.

## Objectifs de production pour les réseaux ECLA et CLERVIA

L'objectif de production pour ECLA était de 82% d'énergie renouvelable. En 2019, ECLA fournissait 94,4% de son énergie à partir de la biomasse.

À partir de 2023, Clermont Auvergne Métropole ajoute deux objectifs :

- l'interconnexion du réseau ECLA à celui de CLERVIA pour transférer de la chaleur d'origine renouvelable d'ECLA vers CLERVIA ;
- la connexion de deux sites industriels au réseau ECLA durant la période estivale.

Après l'agrandissement et l'interconnexion des réseaux, le taux d'énergie renouvelable devra être à minima de 75 % pour ECLA et de 76,2 % pour CLERVIA.

L'étude proposée, articulée en trois parties indépendantes, permet de valider tout ou partie des exigences synthétisées sur le document [DT1] pour atteindre les objectifs annoncés.

Partie 1 : analyse énergétique, financière et environnementale des réseaux de chaleur existants et de leur interconnexion.

Partie 2 : vérification du dimensionnement de la distribution de l'énergie thermique de la chaufferie ECLA au regard de l'extension.

Partie 3 : recherche de solutions pour améliorer la disponibilité de la production de chaleur à partir de biomasse.



# Partie 1. Analyse énergétique, financière et environnementale des réseaux de chaleur existants et de leur interconnexion

**Objectif :** *Clermont Auvergne Métropole souhaite étendre et interconnecter ses deux réseaux de chaleur afin de transférer la chaleur d'origine renouvelable du réseau ECLA vers celui de CLERVIA. Dans cette partie, il s'agit de vérifier si la production de chaleur du réseau ECLA est suffisante pour assurer les exigences d'une extension et d'une interconnexion mais aussi les rentabilités financières et l'impact environnemental (rejet des gaz à effet de serre).*

## 1.1 Analyse financière

Le réseau de chaleur et les chaufferies associées ont été contractualisés pour une durée de 25 ans. En première approximation, l'installation d'une chaufferie gaz revient à 200 000 € par MW installé alors qu'une chaufferie biomasse revient à 1 000 000 € par MW installé.

Coût de revient et prix de vente moyen de l'Énergie calorifique sur la durée du contrat ECLA hors variation de prix des énergies	
Cout de revient, production de chaleur au gaz	0,045 €·kW <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup>
Cout de revient, production de chaleur « biomasse »	0,03 €·kW <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup>
Prix de vente moyen de la chaleur avant injection sur le réseau urbain	0,05 €·kW <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup>

Remarque : les prix indiqués ont été déterminés lors de l'étude du raccordement soit en 2019.

**Question 1 :** Pour une puissance installée de 12 MW et une production annuelle de  $38,5 \cdot 10^9$  W·h, **calculer** le temps d'amortissement nécessaire pour chacune des installations sans considérer de variation de prix et à production constante (hors frais d'emprunt et inflation). **Déterminer** le temps nécessaire pour que la chaufferie biomasse soit plus rentable qu'une chaufferie gaz. **Justifier** la durée du contrat qui a été négocié par rapport à la durabilité des équipements et la rentabilité. **Justifier** le choix de Clermont Auvergne Métropole de réseaux de chaleur urbains alimentés par de la chaleur issue de la biomasse.

## 1.2 Analyse de la production de chaleur du réseau ECLA

Les chaudières biomasses COMPTE-R des réseaux sont prévues pour fonctionner avec une régulation modulée de la charge de 25 à 100% de la charge nominale dans le respect des valeurs d'émissions (particules, Nox, CO, ...). En fonction du besoin, certaines d'entre elles peuvent être arrêtées, mais leur redémarrage prend plusieurs heures contrairement aux chaudières gaz qui peuvent démarrer instantanément.

**Question 2 :** À partir de la présentation du support d'étude, **proposer** un diagramme de contexte et un diagramme structurel du système.

**Question 3 :** À partir des données précédentes et des documents [DT2] et [DT3], **compléter** le tableau de synthèse [DR1]. La puissance calorifique fournie aux abonnés du réseau ECLA a oscillé le 12 juillet 2019 entre 554 kW et 1815 kW, pour le réseau CLERVIA, elle a oscillé entre 469 kW et 1 685 kW. Au regard du document [DR1], **conclure** sur la possibilité d'exploiter les chaudières biomasse en été pour chacun des réseaux puis les réseaux interconnectés.

### 1.3 Respect du pourcentage d'énergie renouvelable.

La demande de chaleur du 16 janvier 2019 correspond au pic annuel de demande. Il convient d'analyser ce jour critique dans le cadre de l'extension du réseau à de nouveaux clients. L'augmentation de la taille du réseau génère une augmentation de la puissance souscrite par les abonnés de 52%. Dans une première approche, on considère que le profil des consommations est inchangé et que l'augmentation de la taille du réseau évite les arrêts des chaudières alimentées par biomasse en période estivale.

**Question 4 :** En comparant les deux courbes du document [DR2], justifier le décalage entre la courbe de puissance thermique demandée et la courbe de puissance thermique injectée. Citer au moins trois éléments qui expliquent les fortes fluctuations de la demande. Compléter le tableau du document [DR2] en indiquant les générateurs qui doivent être mis en marche en fonction de la période de la journée. Préciser si les puissances des générateurs sur le site d'ECLA sont suffisantes pour permettre la connexion de nouveaux clients et quelles en seront les conséquences en termes de production de chaleur bas-carbone.

### 1.4 Analyse de l'interconnexion des réseaux

La société CLERVIA a choisi d'éteindre sa chaudière biomasse sur la saison estivale (du 1<sup>er</sup> juin au 30 septembre), la société ECLA souhaite maximiser l'usage de ces générateurs de chaleur à partir de biomasse.

L'extension des deux réseaux ECLA et CLERVIA les rapproche d'une distance de 824 m, cela pourrait permettre de les connecter et de transférer la chaleur d'origine renouvelable du réseau ECLA vers le réseau CLERVIA.

#### Fourniture de chaleur aux réseaux

L'interconnexion des deux réseaux doit permettre de substituer une énergie fossile comme le gaz par une énergie renouvelable comme la biomasse. Dans une première approche, on estime que cette substitution permettrait de ne pas produire 3 830 tonnes de CO<sub>2</sub> par an à partir de gaz fossile.

L'interconnexion des réseaux ECLA et CLERVIA doit être réalisée avec des produits « Wannipipe » (figure 7).

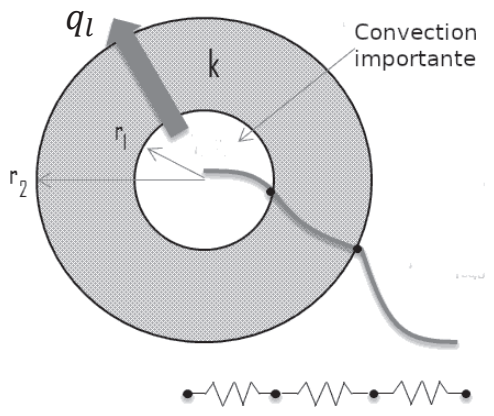


Le produit Wannipipe est un système rigide, dit bloqué, de canalisations pré-isolées. Le tube caloporteur est généralement en acier noir ; l'isolant est une mousse polyuréthane injectée et l'enveloppe extérieure est une gaine en polyéthylène haute densité (sur demande un système de détection ou de localisation peut équiper tous les éléments du produit Wannipipe).

- Domaine d'utilisation : Transport des fluides couramment utilisés en sanitaire et génie climatique.
- Applications : Chauffage urbain, froid urbain, Applications industrielles et spécifiques
- Température admissible : +140°C en continu
- Pression de service : PN25
- Diamètre intérieur : 80 mm
- Diamètre extérieur : 180 mm
- Conformité : Normes EN 253, 448, 488 et 489
- Avis technique : CSTB N° 14/13-1833

Figure 7 : Extrait de la brochure commerciale du tube WANNIPIPE

Pour ce type de tuyauterie, il est possible de déterminer théoriquement le flux de chaleur perdu à partir de la formule simplifiée suivante :

 $q_l = \frac{\pi(T_1 - T_2)}{\frac{1}{2 \cdot r_1 \cdot h_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2 \cdot k}}$	<p>Avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>q_l</math> : flux de chaleur en <math>[W \cdot m^{-1}]</math></li> <li>• <math>T_1</math> : la température intérieure du tube en <math>[K]</math></li> <li>• <math>T_2</math> : la température extérieure du tube : <math>[K]</math> (la température du sol à 1,2 m de profondeur oscille de <math>3,6^\circ C</math> à <math>14,1^\circ C</math>. À Clermont-Ferrand elle est en moyenne de <math>12^\circ C</math>)</li> <li>• <math>k</math> : conductivité thermique de l'isolant : <math>0,032 [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]</math></li> <li>• <math>r_2</math> : rayon extérieur de l'isolant : 90 mm</li> <li>• <math>r_1</math> : rayon intérieur du tube : 40 mm</li> <li>• <math>h_1</math> : coefficient de convection du fluide caloporteur sur le tube en <math>[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]</math></li> </ul> <p>Les échanges dans la partie métallique du tube sont dans ce cas volontairement négligés.</p>
---	---

La perte de chaleur dans la tuyauterie est estimée par le fabricant à  $18,84 W \cdot m^{-1}$  en régime permanent, pour un fluide à  $85^\circ C$  et une vitesse de circulation de  $1 m \cdot s^{-1}$  (coefficient de convection estimé dans ce cas :  $34 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ).

L'interconnexion va conduire à la réalisation de travaux d'aménagement importants définis en trois phases :

- phase 1 : réalisation des tranchées ;
- phase 2 : dépôt des tuyauteries calorifugées (une pour l'aller et une pour le retour) pour des portions données (sur une longueur totale de 824 m) ;
- phase 3 : remise en état du site (chaussée, bordure...).

**Question 5 :** On considère que la perte de chaleur dans les tuyauteries peut être considérée comme constante sur l'année et en première approximation estimée à  $18,84 W \cdot m^{-1}$ , **justifier** cette proposition en analysant les variations de chaque paramètre. **Déterminer** les pertes de chaleur maximales pour une année. En considérant que la chaleur fournie au réseau de chaleur génère  $17 \cdot 10^{-6} kg CO_2 \cdot W^{-1} \cdot h^{-1}$ , **estimer** la production de  $CO_2$  annuelle en kg générée par les pertes de chaleur dans la tuyauterie de l'interconnexion.

## Bilan carbone dans le domaine des travaux publics

Outre la fourniture des tubes, il sera nécessaire de renouveler les matériaux de comblement, et les matériaux de voirie (Béton bitumineux, Grave non traité, Sablon...).

L'ensemble de ces différents travaux va générer des gaz à effet de Serre qui sont regroupés dans le domaine des travaux publics en trois catégories :

Catégorie d'émissions		Poste d'émission	Part dans le BEGES	Remarques
Scopes 1 et 2	Energie	Combustibles, Vapeur, Chaud, Froid et Electricité.	10-80%	Poste particulièrement important pour les installations industrielles (usines de liant, postes d'enrobage, ...).
		Carburant des véhicules et des engins.	10-50%	Poste important pour le métier de Terrassement (engins) ou pour les métiers disposant de flottes de véhicules importantes (ex : services énergétiques).
	Hors Energie	Fuite de gaz de climatisation.	<5%	Poste minoritaire mais important dans le cadre de la réglementation européenne <sup>11</sup> .
Scope 3	Matériaux et services	Matériaux et services.	30-60%	Poste principal pour la majorité des métiers.
	Fret	Fret amont chantier.	10-20%	
		Fret sortant chantier.	10-20%	
	Déplacements	Déplacements domicile-travail.	<5%	
		Déplacements professionnels.	<5%	
	Amortissements	Amortissements.	5-10%	
Déchets	Déchets.	<5%		

Remarque : BEGES signifie Bilan d'Émissions de Gaz à Effet de serre, le CO<sub>2</sub> est un gaz à effet de serre parmi d'autres.

**Question 6 :** À partir du document [DT7], justifier en quoi l'amortissement du matériel de chantier contribue au bilan des émissions de gaz à effet de serre et plus particulièrement du CO<sub>2</sub>.

### Bilan carbone des consommations des engins de chantier

Pour réaliser le terrassement, on envisage de constituer une équipe de trois ouvriers, une pelle mécanique pour le terrassement et un camion pour l'évacuation.

La phase de préparation de chantier a conduit aux conditions de réalisation suivantes :

- sciage du sol avant toute intervention de la pelle mécanique ;
- pelle mécanique à pneus MECALAC 9 MWR ;
- volume du godet avec refus : 0,640 m<sup>3</sup> (volume maximal du godet avec des terres décompactées) ;

- un chauffeur expérimenté est prévu sur le chantier ;
- matériaux terrassés fins et compacts ;
- foisonnement estimé (décompactage des terres excavées en volume) : 125% ;
- production Gaz effet de serre Gasoil : 2,67 kg [CO<sub>2</sub>] · l<sup>-1</sup> [GNR : gasoil non routier] ;
- consommation horaire de gasoil (GNR) de la pelle mécanique : 12,5 l·h<sup>-1</sup> [GNR : gasoil non routier].

**Question 7 :** À partir des documents [DT4] et [DT5], **déterminer** le volume des terrassements puis la durée de fonctionnement nécessaire de la pelle pour réaliser ces travaux. **Déterminer** la consommation de combustible fossile (GNR) et la production de dioxyde de carbone lié à cette phase (Scope 1).

### **Bilan carbone d'un des matériaux nécessaires à la réalisation du chantier**

Un des postes les plus importants de production de CO<sub>2</sub> va être la remise en état des voiries à l'aide d'enrobé à chaud (Scope 1 et 3). Ces émissions ont été quantifiées dans la fiche FDES du produit (Fiche de Données Environnementales et Sanitaires) fournie dans le document [DT6].

**Question 8 :** À partir du document [DT6], **déterminer** la quantité de dioxyde de carbone générée par la construction d'un mètre carré de route puis pour la totalité du projet (l'unité fonctionnelle retenue (UF) dans le bilan carbone est le mètre carré de route réalisée) (Scope 1 et 3). La fiche FDES propose d'autres indicateurs environnementaux, **indiquer** les autres impacts à surveiller. La durée de vie proposée pour une route est de 100 ans, **critiquer** cette proposition et les conséquences sur les indicateurs proposés.

### **Bilan carbone des moyens mis à disposition par l'entreprise**

Des moyens de l'entreprise sont mis à disposition pour la durée du chantier, il s'agit de la base vie (cabane de chantier, conteneur), de moyens de transport de chantier, de matériel, mais aussi des infrastructures. Pour être construits et entretenus, ces équipements ont nécessité et nécessitent toujours des ressources qui peuvent générer du CO<sub>2</sub> (Scope 3).

Les rejets de CO<sub>2</sub> de ces équipements ont été quantifiés dans l'entreprise et représentent 12 642 kg [CO<sub>2</sub>] · an<sup>-1</sup> par équipe type (équipe standard pour ce type de chantier : un chef de chantier, deux ouvriers polyvalents, un chauffeur de pelle mécanique, un conducteur de camion, l'équipe est disponible 204 jours par an).

Dans la phase de préparation de chantier, un premier tronçon « test » de 52 m a été étudié. Le tableau suivant présente toutes les étapes qui ont été envisagées.

CODE	DÉSIGNATION DES OUVRAGES	Pré-décès-seur	U.M.	Q.	T. U.	Moyens « humains »	Moyens « matériels »
A	Préparation du chantier (sécurisation, dépose des éléments d'aménagement)	-	U	1	$3,96 \cdot 10^{-5}$ U·s <sup>-1</sup> pour une tâche (soit 7 h pour réaliser la tâche)	Chauffeur Pelle Ouvrier 1 Chauffeur camion	Pelle mécanique Camion (15t)
B	Découpage de la voirie (épaisseur estimée : 8 cm)	A	m	?	$1,39 \cdot 10^{-3}$ m·s <sup>-1</sup> pour un ouvrier	Ouvrier 1	Scie à sol
C	Décroutage de la voirie, chargement des croutes (épaisseur estimée : 8 cm)	A	m <sup>2</sup>	?	$2,99 \cdot 10^{-2}$ m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> pour une pelle mécanique	Chauffeur Pelle Ouvrier 2 Chauffeur camion	Pelle mécanique Camion (15t)
D	Terrassement et recherche des canalisations enfouies	B, C	m <sup>3</sup>	?	$2,57 \cdot 10^{-2}$ m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> pour une pelle mécanique	Chauffeur Pelle Ouvrier 1 Chauffeur camion	Pelle mécanique Camion (15t)
E	Recherche des canalisations existantes, sondage manuel	B, C	m	?	$1,39 \cdot 10^{-3}$ m·s <sup>-1</sup> pour un ouvrier	Ouvrier 2	-
F	Pose des canalisations enterrées y compris soudure TIG	D, E	m	?	$2,77 \cdot 10^{-4}$ m·s <sup>-1</sup>	Prestation entreprise extérieure, l'équipe de travaux publics n'est pas présente sur le site	Prestation entreprise extérieure, l'équipe de travaux publics n'est pas présente sur le site
G	Comblement des tranchées, y compris compactage	F	m <sup>3</sup>	?	$7,77 \cdot 10^{-3}$ m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> pour une pelle mécanique	Chauffeur Pelle Ouvrier 1 Ouvrier 2 Chauffeur camion	Pelle mécanique Camion (15t)
H	Réfection de voirie	G	m <sup>2</sup>	?	$1,05 \cdot 10^{-2}$ m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> pour un atelier d'enrobé (contexte urbain, tranchée)	Présence de l'équipe complète Équipe dédiée de l'entreprise en renfort	Atelier d'enrobé (mini-finiisseur, camion équipé) Semi-remorque bâchée pour livraison

**Question 9 :** Déterminer le temps nécessaire pour chacune des étapes du chantier, compléter sur le document réponse [DR3] le diagramme des potentiels correspondant à la portion de 52 m. Réaliser sur copie le diagramme de Gantt correspondant. En déduire la durée approximative du chantier totale puis la production de CO<sub>2</sub> générée par les installations nécessaires au travail des ouvriers et les installations administratives (durée de travail quotidienne : 7 h).

### Rentabilité Carbone de l'extension

Un premier bilan carbone du chantier a donné les résultats suivants :

POSTE	Production de CO <sub>2</sub> [kg CO <sub>2</sub> / UF]
Terrassement (y compris découpe et évacuation)	3 541
Fret chantier	2 616
Remplissage (fourniture de matériaux)	2 452
Remise en état des aménagements urbains (bordure, réseaux...)	354
Remise en état des voiries (matériaux, livraison et pose)	59 410
Amortissement des équipements, transport des ouvriers, administration centrale	3 264
TOTAL	71 637

Remarque : ici l'unité fonctionnelle (UF) est le mètre carré de route.

**Question 10 :** Déterminer le temps de retour sur investissement de l'extension en termes de CO<sub>2</sub>. Conclure sur la rentabilité « carbone » d'une telle opération, lister au moins trois autres critères de préservation de l'environnement qui doivent être pris en compte lors d'une telle opération.

### 1.5 Synthèse de la partie 1 - Démarche développement durable

**Question 11 :** À partir de l'ensemble des questions de la partie 1, identifier les critères qui mettent en évidence le fait que ce projet suit une démarche de développement durable.

### 1.6 Projet de terminale STI2D

Le système étudié dans ce sujet est adapté pour une exploitation dans le cadre du projet de fin de première. Le système répond à une problématique sociétale et couvre les champs Matière, Énergie et Information.

**Question 12 :** Afin de définir un projet pour un groupe de trois élèves dans le cadre de l'enseignement « Ingénierie, innovation et développement durable » (2I2D), proposer sur feuille de copie : la thématique du projet, une formulation du besoin initial, la finalité du produit en lien avec la thématique et le problème technique à résoudre.

## Partie 2. Vérification du dimensionnement de la distribution de l'énergie thermique de la chaufferie ECLA au regard de l'extension

**Objectif :** La chaleur produite par la chaufferie ECLA est transportée par un fluide caloporteur (eau chaude) qui circule dans un réseau de canalisations comprenant un réseau primaire de production et des réseaux secondaires de distribution. Dans cette partie, il s'agit de vérifier le dimensionnement des pompes du « réseau primaire » ainsi qu'une stratégie de pilotage du groupe surpresseur.

Dans le cas d'un réseau de chauffage urbain, le bilan énergétique ne se résume pas au seul bilan d'énergie thermique (quantités de chaleur produites et distribuées ou perdues). Il peut aussi intégrer les consommations d'électricité des pompes et auxiliaires, indispensables au fonctionnement du réseau.

Le groupe de surpression du réseau de chaleur est équipé de quatre pompes verticales KSB Multitec (figure 8) pour le transport de l'eau sous pression. Ces pompes sont équipées de moteurs asynchrones Siemens de 110 kW pilotés par variateur Danfoss VLT AQUA Drive FC 202.

Le schéma ci-dessous (figure 9) détaille l'association des pompes réseau ECLA.



Figure 8 : Pompes réseau ECLA

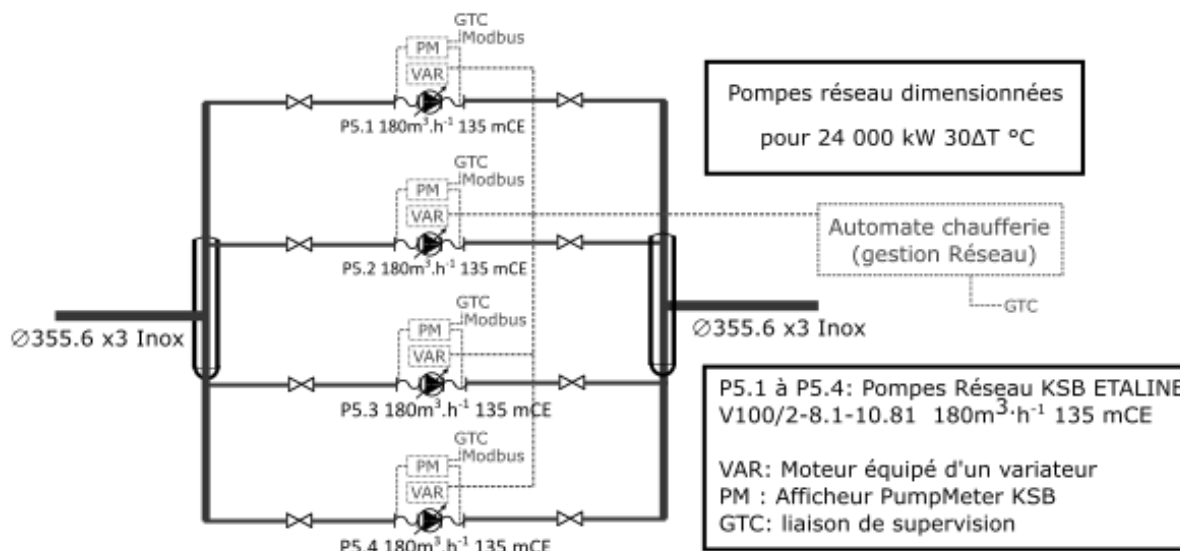


Figure 9 : Schéma des pompes réseau ECLA

### 2.1 Gestion des pompes du réseau ECLA

Le schéma des pompes réseau ECLA (figure 9) précise que les pompes sont dimensionnées pour une puissance thermique de 24 000 kW pour une variation de température, notée  $\Delta T$  de 30°C.

Le fluide utilisé dans le réseau de chaleur est de l'eau chaude dont les températures varient entre 95°C en départ de chaufferie ( $T_{dep}$ ) et 65°C en retour de chaufferie ( $T_{ret}$ ). La variation de température  $\Delta T$  est donc de 30°C.



Soit :

- P = Puissance thermique en [kW]
- $Q_{\text{meau}}$  = Débit massique de l'eau [kg·s<sup>-1</sup>]
- $Q_{\text{veau}}$  = Débit volumique de l'eau [m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>]
- $\rho_{\text{veau}}$  = Masse volumique de l'eau [kg·m<sup>-3</sup>]
- $C_{\text{peau}}$  = Chaleur massique de l'eau [kJ·kg<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>]
- $\Delta T$  = Différence de température entre départ eau chaude et retour eau froide [°C] ou [K]

Les caractéristiques de l'eau chaude sont prises à la température moyenne  $T = 80^\circ\text{C}$ , et sont les suivantes :

	$\rho_{\text{veau}}$ [kg·m <sup>-3</sup> ]	$C_{\text{peau}}$ [kJ·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
Eau à 80 °C	971,6	4,195

Une analyse dimensionnelle permet de retrouver la relation entre la puissance thermique et le débit volumique des pompes.

**Question 13 :** Justifier par calcul que les pompes de réseau sont capables d'assurer le débit nécessaire pour transférer une puissance thermique de 24 000 kW sous une différence de température  $\Delta T$  de 30°C.

Les quatre pompes montées en parallèle pilotées par variateurs vont constituer un groupe de surpression permettant de distribuer l'eau chaude à un débit et à une pression adaptés (figure 9 et figure 10).

La hauteur manométrique totale (HMT) d'une pompe représente la différence de pression du liquide franchissant, exprimée en mètres de colonne du liquide considéré.

Une manière efficace d'exploiter le réseau est d'imposer la hauteur HMT constante et de faire varier le débit des pompes par variateur de fréquence.

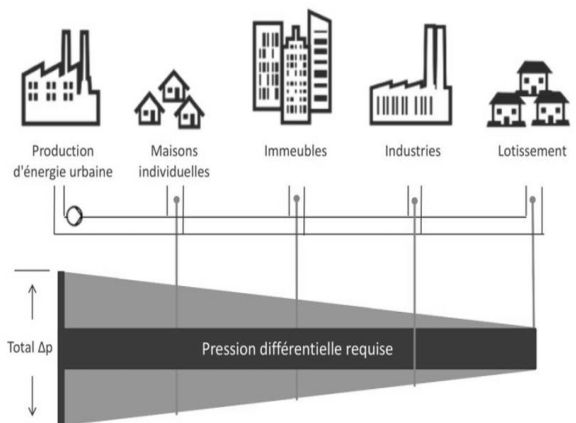


Figure 10 : Évolution de la pression sur le réseau de chaleur

La puissance utile  $P_u$  d'un moteur électrique de pompe peut se déterminer par la formule suivante :

$$P_u = \frac{\text{HMT} \cdot Q_{\text{veau}} \cdot \rho_{\text{veau}} \cdot g}{\eta_{\text{pompe}}}$$

avec  $\rho_{\text{veau}}$  [kg·m<sup>-3</sup>] = 971,6 à 80 °C ;  $g = 9,81$  [m·s<sup>-2</sup>] et  $\eta_{\text{pompe}}$ , le rendement de la pompe.

**Question 14 :** À partir de la courbe caractéristique d'une pompe ETALINE MULTITEC V100 [DT9] et du rendement de la pompe [DT10], **calculer**, pour le point de fonctionnement nominal de la pompe, la puissance utile du moteur électrique à associer à la pompe.

**Question 15 :** À partir des caractéristiques du moteur Siemens associé à la pompe ETALINE-MULTITEC données dans le document [DT10] et pour un réseau électrique en 400 V triphasé, **calculer** la puissance électrique absorbée, le couple et le rendement du moteur pour le point de fonctionnement nominal à la puissance utile de 110 kW de ce moteur électrique.

## 2.2 Optimisation énergétique du pilotage des pompes par variation de fréquence

Pour une plage de fonctionnement allant de  $80 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  à  $180 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , les pompes peuvent être pilotées selon deux stratégies, le mode 1 ou le mode 2 :

- Mode 1 : pilotage du moteur électrique de la pompe en imposant une fréquence fixe d'alimentation à 45 Hz par le variateur de fréquence ;
- Mode 2 : le variateur de fréquence est configuré en régulation de HMT constante. La fréquence d'alimentation du moteur varie ainsi automatiquement entre 40 et 45 Hz pour maintenir la HMT constante en fonction du débit demandé par les consommateurs.

Dans le cadre de cette étude, on considère le rendement du moteur constant à 94% indépendant du débit de la pompe et le rendement du variateur égal à 100%.

**Question 16 :** En vous basant sur le réseau de caractéristiques de la pompe donnée en [DT9] ainsi que la courbe de rendement de la pompe donnée en [DT10], **calculer** la puissance électrique absorbée par le moteur pour les pilotages en mode 1 et en mode 2 pour des débits de  $80 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  et  $180 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . **Présenter** les résultats sous la forme du tableau proposé ci-dessous. **Justifier** l'intérêt de la variation de vitesse dans le cadre de la stratégie de réduction de consommation électrique des pompes réseau ECLA.

Format du tableau attendu :

	Débit $80 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	Débit $180 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
<b>Mode 1 :</b> Pilotage du variateur en fréquence $f$ fixe de 45 Hz	$\eta_{\text{pompe}} = \dots$ HMT = ... $P_u = \dots$ $P_{\text{elec}} = \dots$	$\eta_{\text{pompe}} = \dots$ HMT = ... $P_u = \dots$ $P_{\text{elec}} = \dots$
<b>Mode 2 :</b> Pilotage du variateur en HMT constant et fréquence $f$ variant de 40 Hz à 45 Hz	$\eta_{\text{pompe}} = \dots$ HMT = 110 m $P_u = \dots$ $P_{\text{elec}} = \dots$	$\eta_{\text{pompe}} = \dots$ HMT = 110 m $P_u = \dots$ $P_{\text{elec}} = \dots$

## 2.3 Supervision et communication ModBus-RTU

Les pompes centrifuges du réseau ECLA sont équipées d'un transmetteur de pression intelligent, les KSB PumpMeter (figure 11).

Les informations suivantes sont fournies par le KSB PumpMeter :

- affichage de la pression d'aspiration, de la pression de refoulement, ainsi que la hauteur manométrique ou pression différentielle ;
- indication qualitative du point de fonctionnement actuel de la pompe ;
- profil de charge de la pompe ;
- sortie du débit, de la pression de refoulement ou de la pression différentielle via une sortie analogique 4 – 20 mA ou via une interface série RS485, Modbus RTU.



Figure 11 : KSB PumpMeter (Source KSB)

À chacune des pompes réseau est associée un module KSB PumpMeter qui transmet les informations via l'interface série RS485 en utilisant le protocole Modbus RTU. Ces informations sont remontées dans un automate WAGO 750-8202 qui va centraliser les données pour assurer la supervision.

**Question 17 :** En vous basant sur les documents [DT11], [DT12], [DT15] et [DT16], **tracer** sur le document réponse [DR4] les connexions à réaliser pour assurer la liaison RS485 entre les différents KSB PumpMeter et l'automate Wago ainsi que l'alimentation 24 Vdc.

Avant de programmer la liaison Modbus RTU dans l'automate Wago, on souhaite valider la bonne communication d'un module KSB PumpMaster avec un PC portable. Pour cet essai, on utilise le logiciel qModMaster qui permet de générer des requêtes Modbus-RTU ainsi qu'un adaptateur USB-RS485 pour connecter le KSB PumpMeter à un port USB du PC portable.

**Question 18 :** Sur le document réponse [DR5], **indiquer** les valeurs à affecter aux paramètres de configuration de la liaison série du logiciel qModMaster pour assurer la communication avec le PumpMeter afin de mesurer le débit (Flow-Rate) de la pompe. Les paramètres Modbus du module PumpMeter sont donnés dans les documents [DT12], [DT13] et [DT14].

Les informations suivantes sont relevées sur le moniteur du logiciel qModMaster (figure 12) :

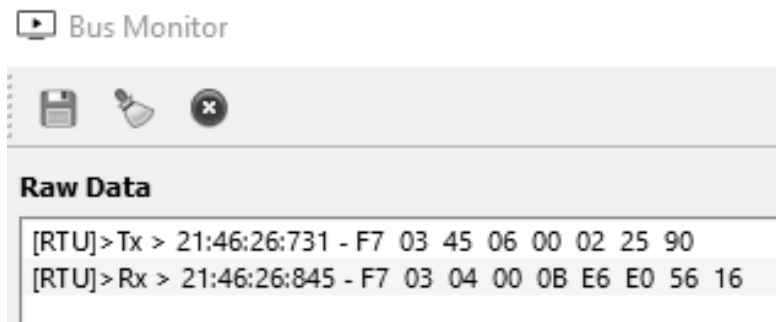


Figure 12 : Trames ModBus RTU (Requête - Réponse)

[RTU] > Tx correspond à la trame de requête envoyée par le logiciel qModMaster  
[RTU] > Rx correspond à la trame de réponse du KSB PumpMeter

**Question 19 :** En analysant la trame de requête et de réponse (des exemples sont donnés sur le document [DT14]), **indiquer** le paramètre qui est évalué ainsi que la valeur mesurée.

Les tests réalisés ont permis de valider le fonctionnement de la communication individuelle de chaque module KSB PumpMaster avec le PC portable. Toutefois, la communication n'est plus opérationnelle quand deux ou plus des modules sont connectés.

**Question 20 :** À l'aide du document [DT12], **déterminer** les causes de ce dysfonctionnement.

## 2.4 Exploitation pédagogique

Dans le cadre du projet de terminale STI2D, un groupe de trois élèves (un élève en spécialité AC, un élève en spécialité EE, un élève en spécialité SIN) travaille dans l'objectif de valider l'exigence 1.3.1 : la consommation électrique de l'ensemble du réseau doit être maîtrisée [DT1].

Pour répondre à cette exigence, il est nécessaire de :

- maîtriser le rendement instantané des pompes et ainsi déterminer les puissances hydrauliques et électriques ;
- évaluer les consommations électriques face aux énergies calorifiques distribuées et ainsi estimer le rendement mensuel ou annuel du système de pompage.

**Question 21 :** À l'aide des différents écrans de supervision du site de production listant les points de mesure disponibles et les données du variateur (documents [DT17] et [DT18]), **identifier** les grandeurs physiques mesurées nécessaires pour déterminer chacune des puissances (thermique, hydraulique, électrique) et des énergies.

**Question 22 :** **Proposer** un protocole d'essais afin que les élèves puissent déterminer le rendement instantané d'une pompe à la date du 9 février 2022 à 17h30, le rendement mensuel d'une pompe pour le mois de janvier 2022 ainsi que l'évaluation des énergies calorifiques distribuées face aux consommations électriques. Les élèves ont accès aux écrans de supervision de la chaufferie ([DT17] et [DT18]) et dans le cadre de ce protocole d'essai, on considèrera le rendement du moteur constant à 94% indépendant du débit de la pompe et le rendement des variateurs égal à 100%.

Le groupe d'élèves est sur le point de démarrer la phase « tests et validation » (figure 13). Ils ont à leur disposition, le protocole pour réaliser les essais et un modèle à valider.

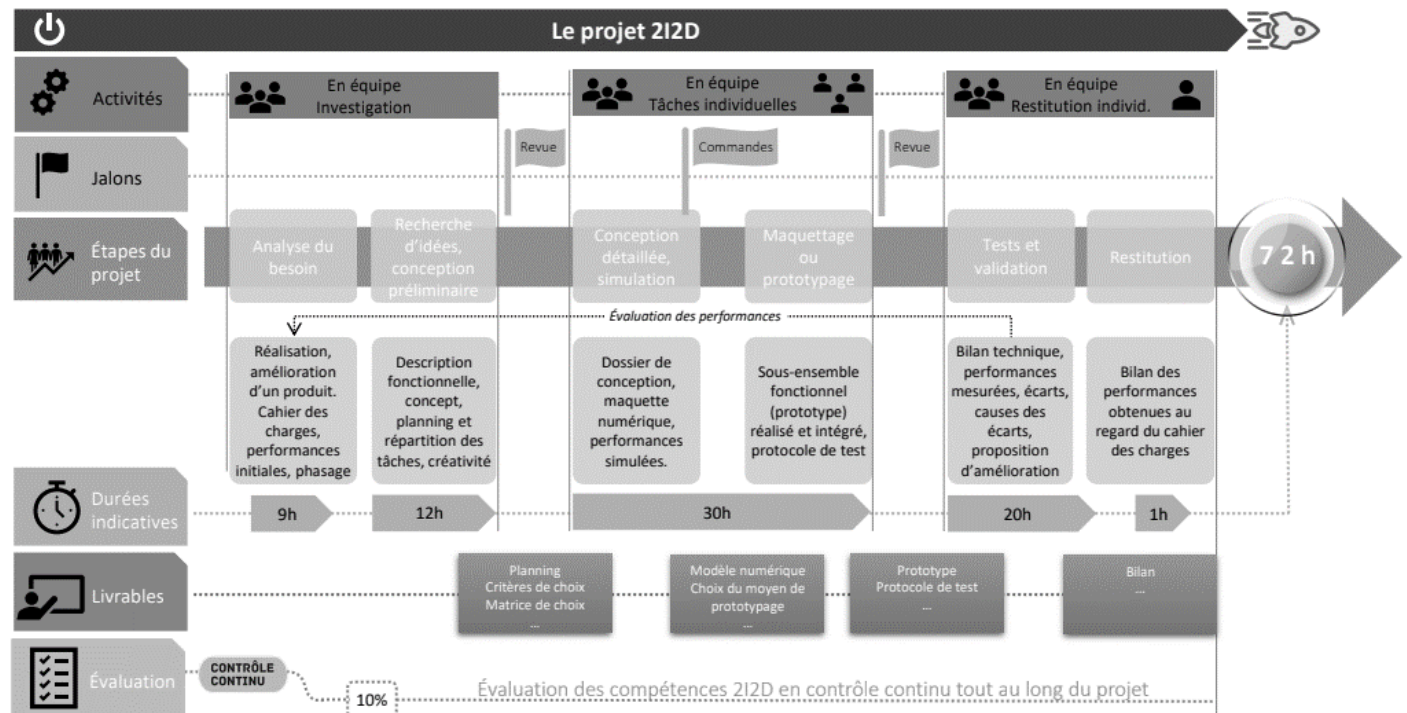


Figure 13 : Les phases d'un projet 212D

**Question 23 :** En complétant le tableau du document réponse [DR6], **proposer**, les tâches des élèves permettant de développer les compétences CO7.1 et CO7.2 et de valider l'exigence 1.3.1.

**Question 24 :** Dans le cadre du projet 2I2D (figure 13) s'appuyant sur le contexte du dossier d'étude, **proposer** une question que l'élève pourrait présenter pour l'épreuve du grand oral [DT8]. **Rédiger** un argumentaire robuste sur le plan scientifique et technologique permettant de développer une réponse à la question.

### Partie 3. Recherche de solutions pour améliorer la disponibilité de la production de chaleur à partir de biomasse

*Objectif : Actuellement la chaudière ECLA doit être arrêtée durant 15 jours en été et 15 jours en hiver afin de contrôler et changer certaines pièces d'usures. La pièce d'usure principale est le barreau du foyer de combustion. Des investigations sont menées pour étudier une modification du choix du matériau de ces barreaux afin d'améliorer la disponibilité de la production de chaleur. Dans cette partie, il s'agit de quantifier la durée de vie de la pièce d'usure et d'envisager des solutions alternatives pour réduire le temps de maintenance.*

Le phénomène d'usure étudié est généré par le mouvement relatif entre les barreaux mobiles et les barreaux fixes de la grille de combustion de la chaudière ECLA. Le document [DT19] décrit le fonctionnement de la grille de combustion. Le cahier des charges impose le remplacement des barreaux lorsque l'épaisseur d'usure atteint la valeur limite  $z_{\max} = 5 \text{ mm}$ .

Le phénomène d'usure est étudié à l'aide de la loi de Preston-Archard. La figure 14 illustre la modélisation associée à cette loi. L'usure est générée par le mouvement relatif entre deux pièces A et B à une vitesse relative  $V$  supposée uniforme sur la surface de contact et qui sont soumises à une pression surfacique uniforme  $p$ .

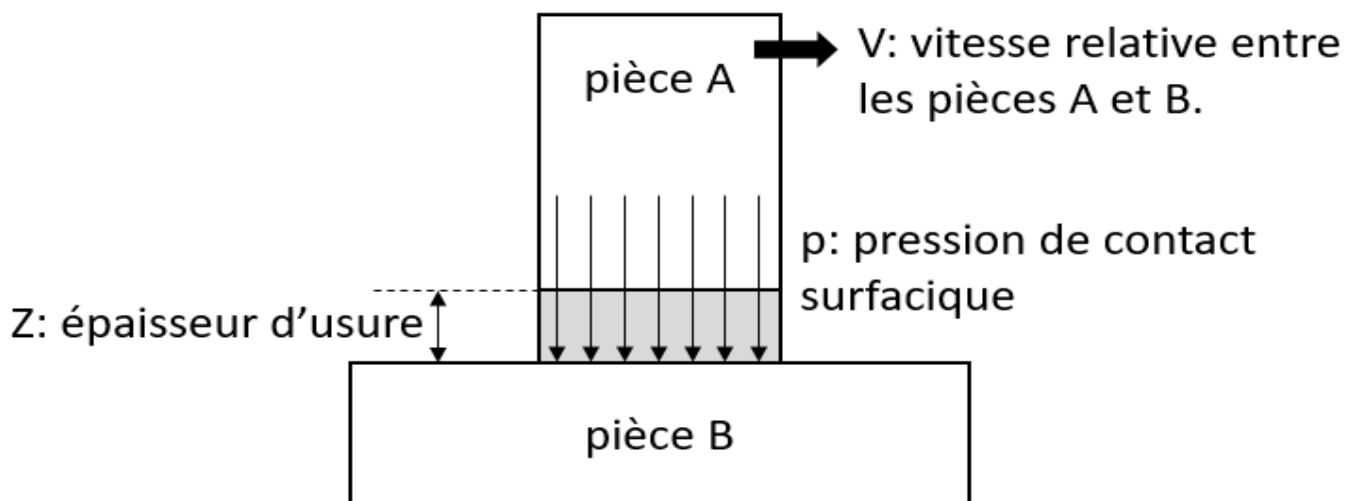


Figure 14 : Modélisation de la loi d'usure de Preston-Archard

La loi de Preston-Archard permet de déterminer l'épaisseur d'usure  $z$  de la pièce A au contact de la pièce B sous la forme :  $z = k \cdot p \cdot L$  (équation 1).

L'épaisseur d'usure  $z$  est proportionnelle à la pression surfacique  $p$  au contact et à la longueur de glissement  $L$  de la pièce A sur B. La constante  $k$  est appelée coefficient de vitesse d'usure, et dépend du couple de matériau en contact dans les conditions d'utilisation et s'exprime en  $\text{mm}^3 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ .

L'étude vise à déterminer le nombre de mois d'utilisation des barreaux avant d'atteindre l'épaisseur d'usure limite  $z_{\max}$  d'après la loi de Preston-Archard.

### 3.1 *Détermination de la vitesse relative $V$ entre les barreaux fixes et mobiles.*

Le document [DT19] décrit les mouvements relatifs des différents éléments dans la chambre de combustion et propose une modélisation cinématique des principales classes d'équivalences afin de déterminer la vitesse relative  $V$  entre les barreaux fixes et mobiles.

**Question 25 :** À partir du schéma cinématique du premier barreau fixe (BF) avec le bâti (0) (figure C du [DT19]), **citer** le nom des trois liaisons élémentaires modélisées en précisant leurs éléments de réduction (centre, axe, normale, ou autre).

**Question 26 :** **Démontrer** par l'analyse des degrés de mobilité que la liaison équivalente aux trois liaisons élémentaires d'un barreau fixe (BF) par rapport au bâti (0) est une liaison encastrement. **En déduire** s'il existe un degré de mobilité entre le tube fixe (TF) et le barreau fixe (BF) lorsqu'il est positionné selon le schéma cinématique (figure C du [DT19]).

**Question 27 :** **Préciser** si la mise en position du barreau fixe (BF) sur le bâti (0) est isostatique ou hyperstatique en justifiant la réponse.

L'alimentation en combustible du foyer de combustion est réalisée par un convoyeur de biomasse. Ce dernier est constitué d'un ensemble de 13 gradins, alternativement fixes et mobiles. Chaque gradin est constitué d'une ligne de 14 barreaux.

L'ensemble des gradins mobiles est lié à un chariot mobile, lui-même mis en mouvement de translation alternative par un vérin hydraulique de diamètre utile  $D_u = 16$  mm et de débit moyen de  $q = 1,2$  litre·min<sup>-1</sup>.

**Question 28 :** **Déterminer** l'expression littérale de la vitesse relative  $V$  entre les barreaux mobiles et les barreaux fixes en fonction des données  $D_u$  et  $q$ . **En déduire** la valeur numérique de  $V$  en m·s<sup>-1</sup>. **Préciser** le nom de la liaison équivalente qui permet ce seul degré de mobilité.

### 3.2 *Détermination de la pression surfacique $p$ entre les barreaux fixes et mobiles.*

Les barreaux (fixes ou mobiles) sont recouverts d'une couche de combustible (biomasse) de hauteur  $H = 50$  cm et dont la masse volumique  $m_v$  est  $700$  kg·m<sup>-3</sup>. On suppose que chaque barreau (fixe ou mobile) est recouvert de combustible sur une surface projetée rectangulaire  $S$  de dimension  $100$  mm par  $400$  mm. On s'intéresse aux actions mécaniques qui s'appliquent sur un barreau mobile.

**Question 29 :** **Déterminer** l'expression littérale de la masse  $M_c$  de combustible sur un barreau en fonction des paramètres  $H$ ,  $m_v$  et  $S$ . **En déduire** la valeur numérique en N du poids du combustible, noté  $P_c$  qui s'applique sur le barreau.

On considère que le poids du combustible  $P_c$  s'applique au point C, représenté sur la figure 15. L'isolement d'un barreau mobile (pièce A) soumis au poids du combustible  $P_c$  permet de déterminer l'action mécanique  $F_a$  qu'exerce un barreau fixe sur un barreau mobile au niveau du point A.

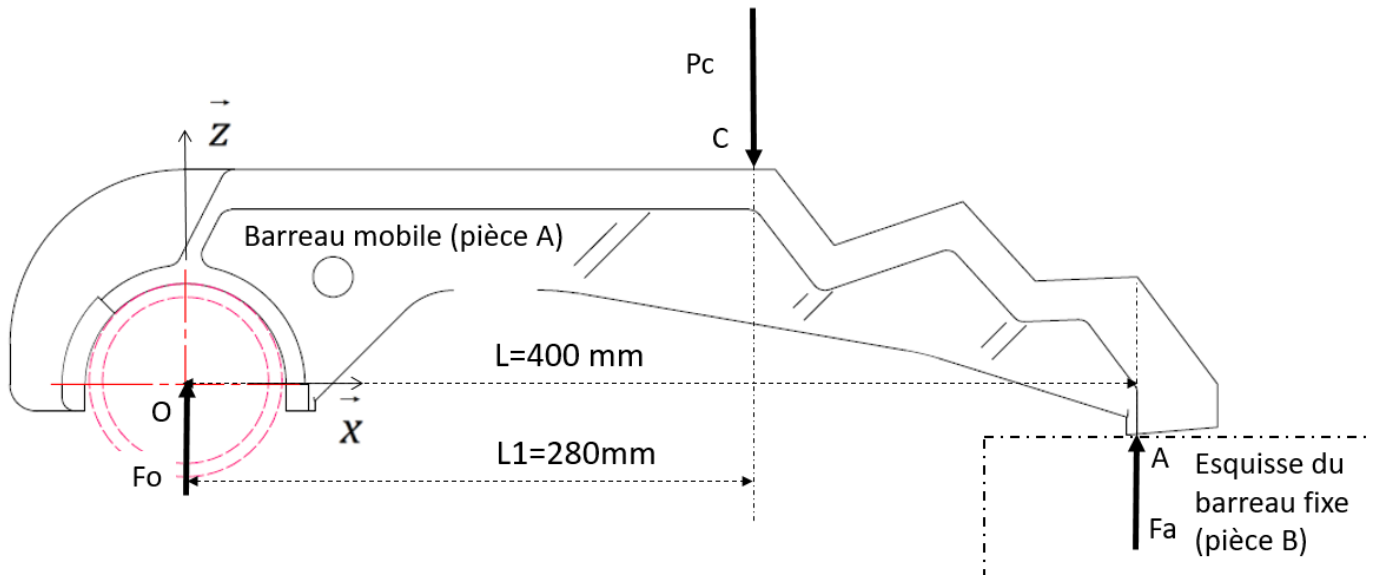


Figure 15 : Bilan des actions mécaniques appliquées sur un barreau mobile

**Question 30 :** Énoncer le principe qui permet de déterminer les actions mécaniques appliquées au barreau mobile en O et en A en fonction du poids  $P_c$ . Déterminer l'expression littérale de l'action mécanique du barreau fixe sur le barreau mobile  $F_a$  en A. En déduire la valeur numérique de  $F_a$  en N.

La surface de contact  $S_{ab}$  entre un barreau fixe et un barreau mobile au niveau du point A est assimilée à une surface rectangulaire de dimension 100 mm par 5 mm.

**Question 31 :** Calculer la pression de contact surfacique  $p$  entre un barreau fixe et un barreau mobile au niveau du point A en  $N \cdot mm^{-2}$ .

### 3.3 Quantification de l'usure par la loi de Preston-Archard

Dans le cas des barreaux fixes et mobiles de cette étude, le coefficient de vitesse d'usure  $k$  décrit dans la loi de Preston-Archard est estimé à  $k = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^3 \cdot N^{-1} \cdot m^{-1}$ .

La chaudière fonctionne 24h/24 en dehors des deux quinzaines de maintenance d'été et d'hiver. Quels que soient les résultats trouvés précédemment, la vitesse relative  $V$  et la pression surfacique sont supposées constantes et de valeur numérique  $V = 0,1 \text{ m} \cdot s^{-1}$  et  $p = 0,2 \text{ N} \cdot mm^{-2}$ .

On rappelle que, selon la loi de Preston-Archard, l'épaisseur d'usure  $z$  est déterminée par la relation  $z = k \cdot p \cdot L$  où  $p$  est la pression surfacique au contact,  $L$  est la longueur de glissement et  $k$  est le coefficient de vitesse d'usure.

**Question 32 :** Appliquer la loi de Preston-Archard afin de déterminer le temps  $T$  de fonctionnement en mois avant d'atteindre l'épaisseur d'usure  $z_{max}$  de 5 mm d'un barreau mobile. Comparer le temps  $T$  aux périodes de maintenance actuelle sur la chaudière et conclure.

### 3.4 Recherche d'un matériau alternatif par la méthode « Fonction-Objectif-Contraintes »

Dans la pratique, le coefficient de vitesse d'usure  $k$  est inversement proportionnel à la dureté du matériau, noté HV.



Par ailleurs, durant la combustion, de l'air comprimé est envoyé périodiquement dans la chambre de combustion afin de décoller le contact entre les barreaux fixes et mobiles. Cette opération génère un choc entre les barreaux fixes et mobiles et impose ainsi de maximiser la ténacité du matériau.

La démarche environnementale vise également à minimiser l'empreinte CO<sub>2</sub> du matériau retenu.

À partir de ces contraintes, la recherche d'un matériau alternatif est envisagée en suivant la méthode « Fonction-Objectif-Contraintes », définie par Ashby.

Le cahier des charges « Fonction-Objectif-Contraintes » du matériau du barreau est le suivant :

- **Fonction** : Convoyer la biomasse ;
- **Objectif** : Maximiser la dureté et la ténacité (résistance aux chocs) ;
- **Contraintes** :
  - Température de fonctionnement : 350°C ;
  - Prix ;
  - Empreinte CO<sub>2</sub>.

Les barreaux actuels sont en fonte. Le document [DT20] fournit des ressources pour la sélection d'un matériau. Le document [DT21] présente deux cartes de sélection pour rechercher un matériau alternatif pour le barreau.

**Question 33** : À partir de la carte de sélection 1 du document [DT21], **proposer** une ou plusieurs familles de matériaux permettant de respecter les contraintes de dureté HV et de température d'utilisation.

Une recherche de matériau par l'analyse d'un indice de performance, noté  $I_p$  est envisagée. Pour cela, on note HV, la dureté Vickers et T, la ténacité, tel que l'indice de performance retenu s'exprime par la relation  $I_p = HV \cdot T^2$ . Il est rappelé que les cartes de sélection sont représentées en échelle logarithmique.

**Question 34** : **Exprimer** la relation  $I_p = HV \cdot T^2$  sous la forme  $\log(T) = a \cdot \log(HV) + b \cdot \log(I_p)$  en précisant les valeurs de a et de b. À partir de cette relation, **expliquer** la méthode permettant de placer la droite d'équation  $\log(T) = a \cdot \log(HV) + b \cdot \log(I_p)$  maximisant  $I_p$  sur la carte de sélection 2 du document [DT21]. **En déduire** le matériau le plus performant selon ce critère.

**Question 35** : À partir des deux cartes de sélection du document [DT21], **conclure** sur le choix d'un matériau alternatif au vu de l'objectif.

### 3.5 *Synthèse des investigations liées à la problématique.*

**Question 36** : **Proposer** une synthèse de l'étude de cette partie au vu de la problématique.

### 3.6 *Exploitation pédagogique de l'étude en enseignement de spécialité IT de Première STI2D*

Le programme de la spécialité IT de Première STI2D évoque la méthode « Fonction-Objectif-Contraintes », défini par Ashby.

L'extrait du programme concernant ce point est rappelé en figure 16.

4.2.2. Choix des matériaux	Liens sciences	IT	I2D	AC	ITEC	EE	SIN	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Caractéristiques des matériaux naturels et artificiels.</li> <li>▪ Critères et principes de choix des matériaux, méthodes structurées d'optimisation d'un choix, critères environnementaux.</li> </ul>	PC : organisation de la matière, propriétés des matériaux.	2		3	3	3		<p>Mettre en œuvre une démarche structurée et argumentée de choix de couple matériau/ procédé sur des cas simples.</p> <p>Les approches multi contraintes et multi objectifs visent à montrer que les choix de matériaux relèvent de compromis entre des critères opposés selon la méthode d'Ashby.</p> <p><i>En EE : se contenter du choix de matériau du point de vue de leur comportement énergétique.</i></p>

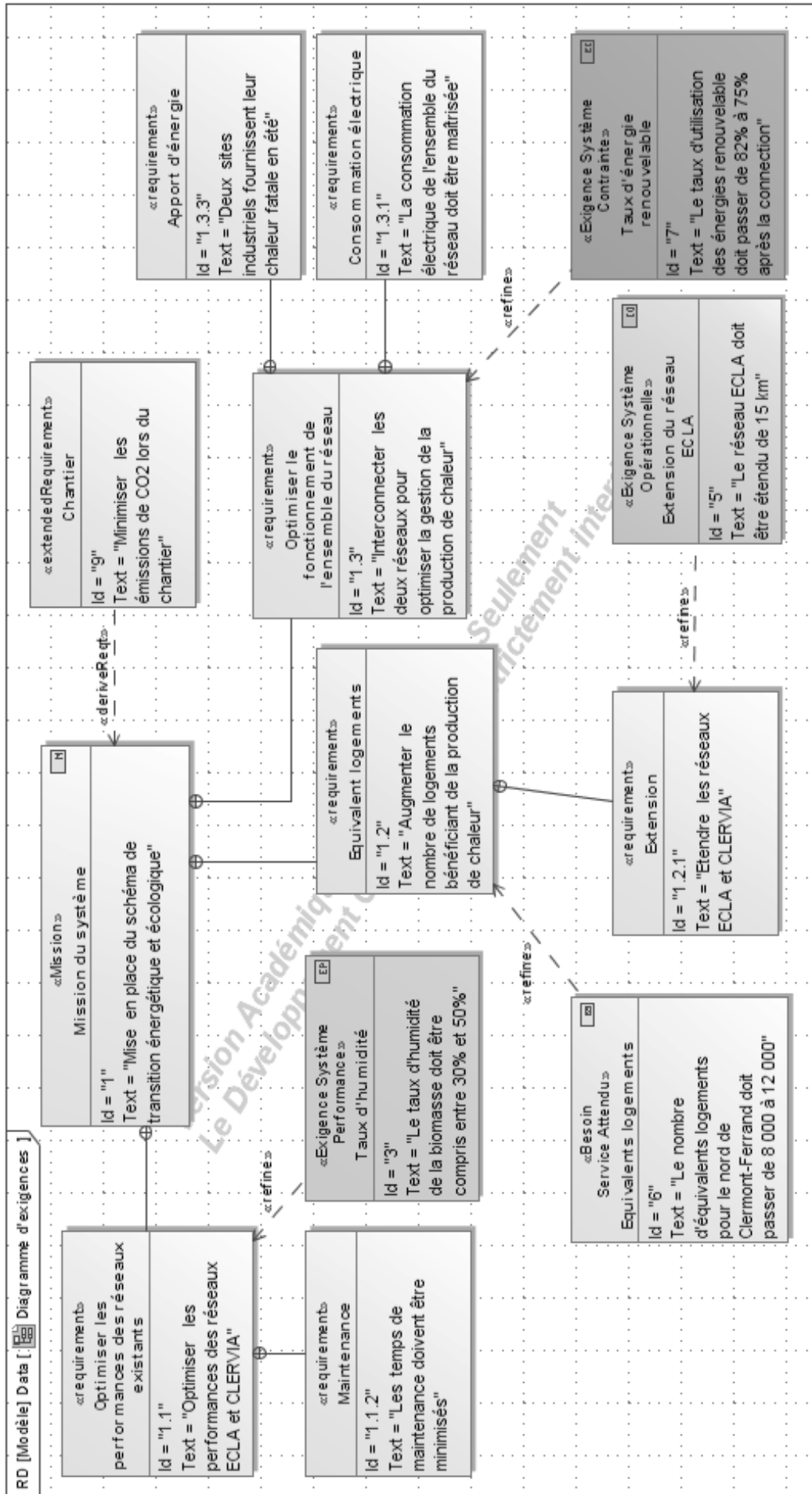
Figure 16 : Extrait du référentiel de ST12D

**Question 37 : Proposer** une fiche de synthèse, d'une page maximum, structurant une démarche de choix de matériau pour les élèves.

Dans le cadre de l'Enseignement Technique en Langue Vivante (ETLV), les élèves doivent réaliser un poster et une présentation orale portant sur un choix d'un matériau innovant selon l'axe thématique 6 : Innovations scientifiques et responsabilité.

**Question 38 : Lister** au moins trois attendus pour la réalisation du poster. **Proposer** les critères et les modalités d'évaluation de la présentation orale.

DT1 : Diagramme d'exigences



## DT2 : Caractéristiques du réseau ECLA

La chaufferie centrale du réseau ECLA est constituée de :

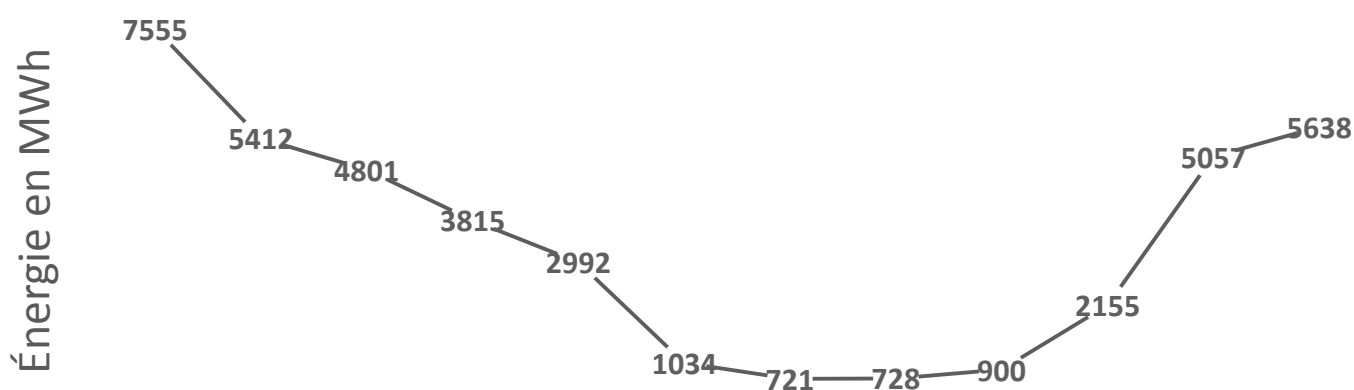
- 2 chaudières bois :
  - une chaudière bois COMPTE-R d'une puissance nominale de 8 MW,
  - une chaudière bois COMPTE-R d'une puissance nominale de 4 MW.
- 2 chaudières d'appoint mixtes gaz et fioul domestique Viessman d'une puissance nominale de 15 MW chacune.

Les deux chaudières d'appoint mixtes gaz-fioul sont nécessaires pour assurer les pics de consommation de chaleur durant les périodes les plus froides de l'année.

En 2019 :

- le réseau ECLA comptait 77 points de livraison ;
- la longueur du réseau était de 13,5 km ;
- en décembre 2019, l'ensemble des puissances souscrites atteignait 29 458 kW ;
- en 2019, l'énergie totale livrée était de 40 808 MWh ;
- l'énergie calorifique a été produite à partir de :
  - 94,4% de bois ;
  - 5,6% de gaz.
- le bilan carbone de la production est de 17 g CO<sub>2</sub> / kWh facturé ;
- la quantité de bois utilisée pour le réseau de chaleur a été en de 17 682 tonnes soit 52 580 MWh d'énergie primaire ;
- les achats de gaz ont été de 3 005 MWh sur PCS (Pouvoir Calorifique Supérieur).

### ÉNERGIE LIVRÉE À L'ENSEMBLE DES ABONNÉS ECLA



Jan-19	Feb-19	Mar-19	Apr-19	May-19	Jun-19	Jul-19	Aug-19	Sep-19	Oct-19	Nov-19	Dec-19
7555	5412	4801	3815	2992	1034	721	728	900	2155	5057	5638

## DT3 : Caractéristiques du réseau CLERVIA

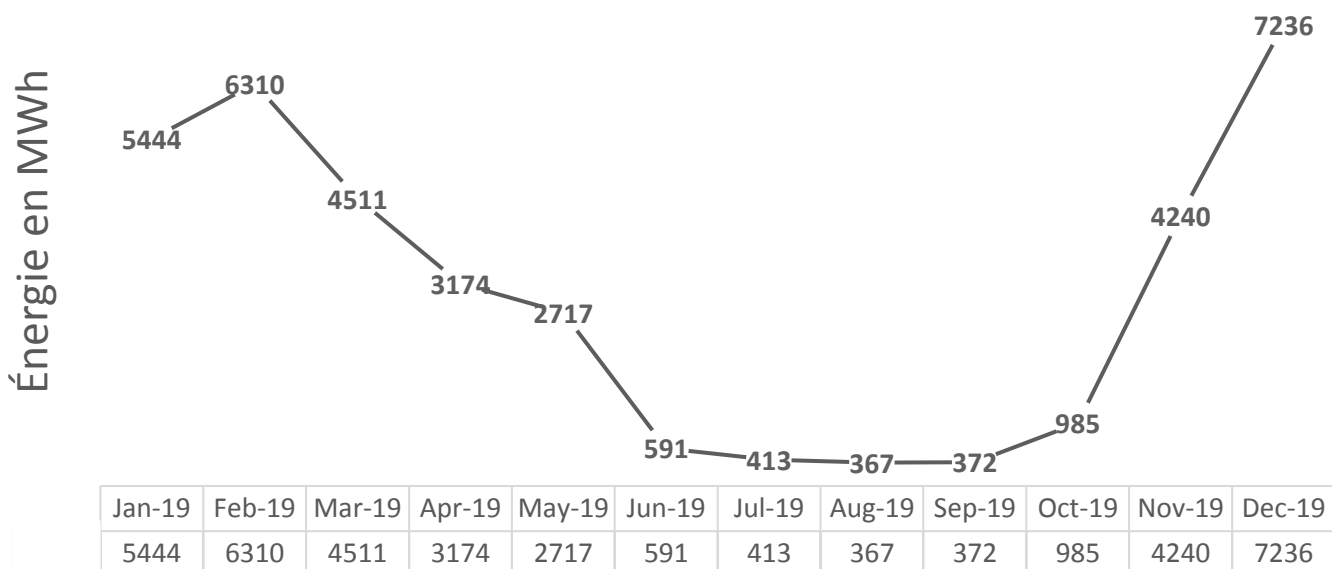
La chaufferie centrale est constituée de :

- 1 chaudière bois COMPTE-R de 7,7 MW ;
- 1 cogénération gaz fournissant une puissance thermique de 1,6 MW et une puissance électrique de 1,4 MW ;
- 1 chaudière gaz LOOS de 9,7 MW ;
- 1 chaudière gaz LOOS de 2,5 MW ;
- 1 chaudière gaz BUDERUS de 5,2 MW.

En 2019 :

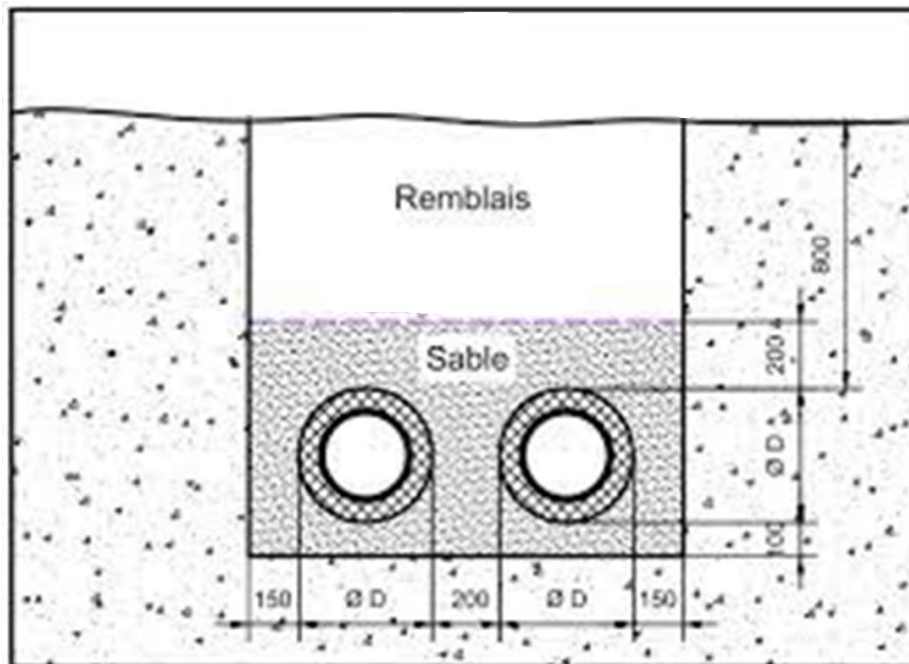
- le réseau CLERVIA comptait 33 points de livraison ;
- la longueur du réseau était de 5,6 km ;
- en décembre 2019, l'ensemble des puissances souscrites formaient un total de 29 458 kW ;
- en 2019, l'énergie totale livrée était de 36 360 MWh ;
- la production de chaleur a été réalisée à partir de :
  - 35,1% de gaz ;
  - 13,8% de cogénération ;
  - 51,1% de bois (biomasse).
- les achats de gaz ont été à hauteur de 3 005 MWh sur PCS (Pouvoir Calorifique Supérieur).

### ÉNERGIE LIVRÉE À L'ENSEMBLE DES ABONNÉS CLERVIA



## DT4 : Extrait du CCTP, prescription des terrassements et tranchée type

Extrait CCTP : prescription terrassement



## DT5 : Rendement horaire d'une pelle mécanique

- Rendement horaire [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ]
- $\text{Nb}_{\text{cycle}}$  (nombre de godet par minute) :  $2 \text{ U} \cdot \text{min}^{-1}$  en moyenne sur ce type de chantier
- $V_{\text{godet}}$  : volume du godet avec refus [ $\text{m}^3$ ]
- $K1$  : coefficient « matériaux »
  - 1 : (alluvionnaire, boues, liquide)
  - 1,25 (matériaux fins et compacts)
  - 0,8 (gravats, démolition)
- $K2$  : coefficient « chauffeur »
  - 1 : expérimenté
  - 0,8 : moyen
  - 0,7 : débutant

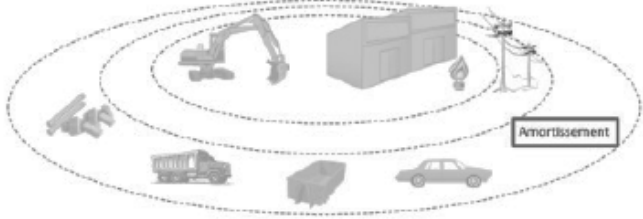
$$\text{Rendement horaire} = K1 \cdot K2 \cdot V_{\text{godet}} \cdot \text{Nb}_{\text{cycle}} \cdot 60$$

# DT 6 : Impacts environnementaux pour 1 m<sup>2</sup> de route en enrobé à chaud

**Impacts environnementaux pour 1 m<sup>2</sup> de chaussée en enrobé bitumineux à chaud**  
**UF : Mettre à disposition une surface de 1m<sup>2</sup> de chaussée en enrobé bitumineux représentative du marché français, sur la base d'une durée de vie de référence de 100 ans**

Impacts environnementaux	Étape de fabrication	Étape de mise en œuvre			Étape de vie en œuvre										Étape de fin de vie					Total cycle de vie	D Bénéfices et charges au-delà des frontières du système											
		A4 Transport	A5 Installation	Total mise en œuvre	B1 Usage	B2 Maintenance	B3 Réparation	B4 Remplacement	B5 Réhabilitation	B6 Utilisation de l'énergie	B7 Utilisation de l'eau	Total vie en œuvre	C1 Déconstruction/démolition	C2 Transport	C3 Traitement des déchets	C4 Décharge	Total fin de vie															
<b>Total A1-A3 Production</b>	2,51E+01	2,86E+00	1,25E+00	4,11E+00	0,00E+00	4,29E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,21E+01	-2,54E+01			
Réchauffement climatique kg CO2 eq/UF	2,51E+01	2,86E+00	1,25E+00	4,11E+00	0,00E+00	4,29E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,21E+01	-2,54E+01	
Appauvrissement de la couche d'ozone kg CFC 11 eq/UF	3,68E-06	5,24E-07	2,48E-07	7,72E-07	0,00E+00	6,65E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,11E-05	-3,48E-06	
Acidification des sols et de l'eau kg SO2 eq/UF	1,22E-01	1,16E-02	9,16E-03	2,08E-02	0,00E+00	2,19E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,62E-01	-1,40E-01
Eutrophisation kg (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> <sup>-</sup> eq/UF	1,64E-02	1,97E-03	1,90E-03	3,87E-03	0,00E+00	3,27E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,29E-02	-1,94E-02
Formation d'ozone photochimique kg Ethene eq/UF	8,18E-03	4,98E-04	1,55E-02	1,60E-02	0,00E+00	3,11E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,53E-02	-2,04E-02
Épuisement des ressources abiotiques (éléments) kg Sb eq/UF	3,01E-05	9,30E-06	5,09E-07	9,81E-06	0,00E+00	5,96E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,94E-05	-3,41E-05
Épuisement des ressources abiotiques (fossiles) M/JUF	1,41E+03	4,35E+01	1,98E+01	6,34E+01	0,00E+00	2,13E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,60E+03	-1,74E+03
Pollution de l'eau m <sup>3</sup> /UF	9,90E+00	1,01E+00	4,85E-01	1,49E+00	0,00E+00	1,69E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,83E+01	-1,12E+01
Pollution de l'air m <sup>3</sup> /UF	2,93E+03	4,17E+02	8,77E+03	9,18E+03	0,00E+00	1,47E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,68E+04	-9,84E+03

## DT 7 : Bilan carbone des travaux publics, Fiche n°10, amortissement des installations annexes au chantier

Fiche N°10	Amortissement	
<b>Description du poste d'émission</b>		
<p>Emissions de GES résultant de la fabrication des équipements et des locaux utilisés par l'organisation.</p> <p>Ce poste recouvre les 2 catégories suivantes :</p> <p><u>Matériel</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- les engins détenus ou loués et utilisés sur le chantier</li> <li>- les véhicules détenus ou loués par l'entreprise</li> <li>- les installations industrielles (centrale à béton/enrobés...)</li> <li>- les équipements du parc informatique</li> </ul> <p><u>Bâtiment</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- les bâtiments (agences de travaux, parkings...)</li> </ul>		
		
<b>Méthode préconisée</b>		
<b>Données opérationnelles à collecter</b>	<b>Type</b>	<b>Service(s) à solliciter</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Typologie et caractéristique du matériel (engins, véhicules...)</li> <li>- Surface des bâtiments (en m<sup>2</sup>)</li> </ul>	Données primaires	Services généraux
<p><b>Périmètre d'analyse</b></p> <p>- Matériel</p> <p>Tous les équipements détenus ou loués par l'organisation entrent dans le périmètre de ce poste d'émission. Les émissions liées à la fabrication du matériel (engins, installations, véhicules...) sont étalées sur la durée d'amortissement. Ainsi les émissions considérées ne sont pas affectées dans leur totalité mais au prorata de leur durée d'utilisation pendant l'année.</p> <p>Il est recommandé d'exclure du périmètre les émissions des amortissements des équipements du parc informatique (ordinateurs, serveurs, imprimantes...), ces émissions étant négligeables par rapport aux amortissements des autres catégories de matériel.</p> <p>- Bâtiment</p> <p>Ce poste concerne l'amortissement des bâtiments administratifs et des agences de travaux. Seuls les locaux en cours d'amortissement comptable sont à prendre en compte.</p> <p>L'amortissement des installations base-vie (baraquements de chantier type bungalows et autres commodités) représente un impact suffisamment faible pour ne pas être considéré.<sup>17</sup></p>		



## « Le Grand oral »

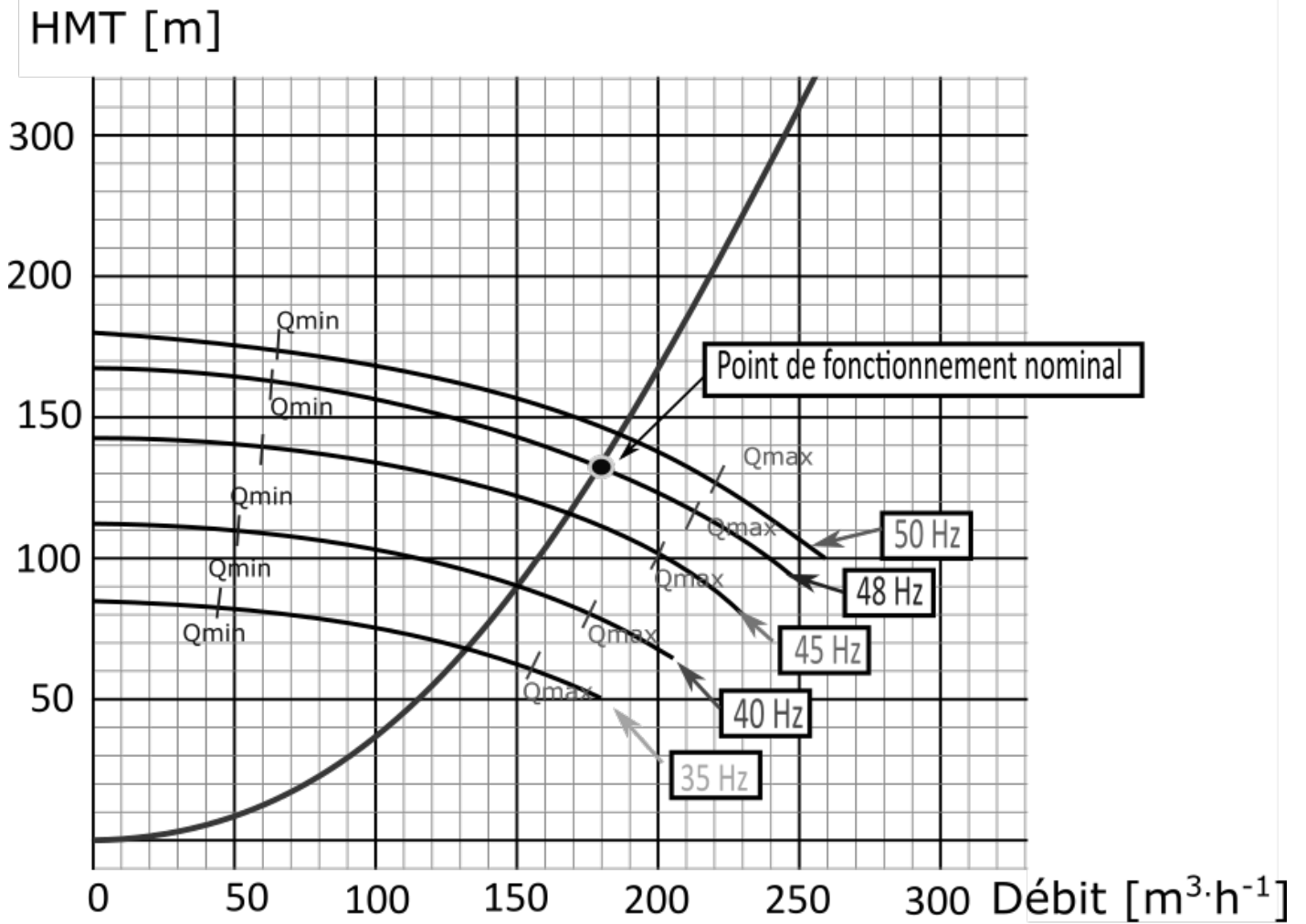
- L'expérience vécue par l'élève lors de la réalisation du projet, fil rouge au grand oral en :
  - étant le support de sa présentation pendant le premier temps de l'épreuve ;
  - préparant l'élève aux questions du deuxième temps d'échanges avec le jury ;
  - éclairant ses choix d'orientation lors du troisième temps.
- Les questions sont choisies par l'élève, elles doivent être singulières et personnelles



	Stage de découverte	Option de 2nde	Ens. spécifique	Projet 212D « Concevoir l'habitat de demain »	Projet d'orientation	Question Grand Oral
JULIE	Cabinet d'architecte	SI/CIT	AC	Rénovation d'un espace dans un EPLE E3D	Architecte	1) Pourquoi il est important de prendre en compte les contraintes d'accessibilité dès la conception d'un bâtiment ? 2) Comment j'ai participé à la mise en place d'un travail collaboratif dans le projet et en quoi ces méthodes de travail impactent les professionnels (BIM) ?
THOMAS	Caserne de pompier	Management et gestion	SIN	Rénovation d'un espace dans un EPLE E3D	Influenceur	1) Pourquoi privilégier des solutions non filaires dans la rénovation et quels sont les impacts sociaux de ce type de déploiement ? 2) Comment j'ai participé à la mise en place d'une méthode de créativité et en quoi ces méthodes peuvent aider dans d'autres domaines ?
GAEL	Entreprise de plomberie	CIT	EE	Développement du chauffage urbain	Technicien de maintenance	?

Quel que soit le parcours, c'est bien la solidité de son argumentation et l'appropriation de son projet d'orientation que l'on examine.

## DT9 : Caractéristiques pompe ETALINE Multitec V 100/2-8.1 10.81



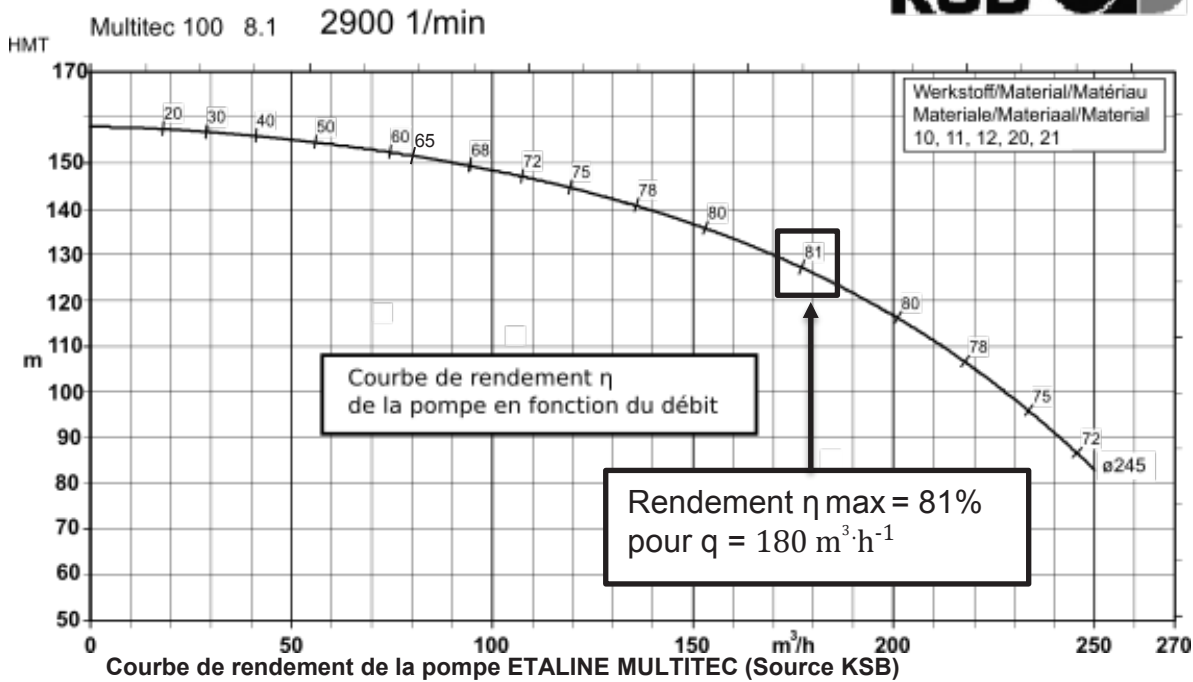
Débits mini et débits maxi par fréquences

Fréquence	Débit mini	Débit Maxi	HMT Maxi
35 Hz	45 m <sup>3</sup> /h	145 m <sup>3</sup> /h	85 m
40 Hz	50 m <sup>3</sup> /h	170 m <sup>3</sup> /h	112 m
45 Hz	60 m <sup>3</sup> /h	200 m <sup>3</sup> /h	142 m
48 Hz	63 m <sup>3</sup> /h	212 m <sup>3</sup> /h	168 m
50 Hz	67 m <sup>3</sup> /h	220 m <sup>3</sup> /h	180 m


**Point de fonctionnement nominal :**  
 Débit = 180 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>  
 HMT = 135 m (13.5 bar)  
 Fréquence = 48 Hz

HMT : Hauteur Manométrique Totale en [m]

# DT10 : Courbe de rendement de la pompe ETALINE Multitec V 100/2-8.1 10.81 et caractéristiques des moteurs Siemens

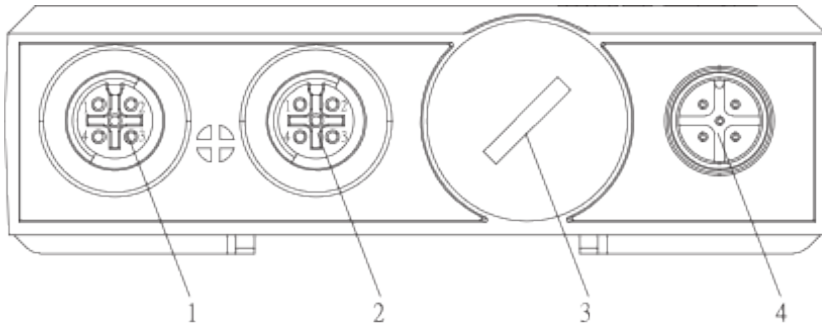


Les moteurs SIEMENS montés sur les pompes ETALINE-MULTITEC chez ECLA possèdent les caractéristiques suivantes :

Data sheet for three-phase Squirrel-Cage-Motors SIMOTICS										SIEMENS					
Motor type : 1CV2310A					SIMOTICS SD - 315 S - IM B3 - 2p										
Duty type										S1					
$I_a/I_N$ = locked rotor current / current nominal					1) L10mh according to DIN ISO 281 10i2010										
$M_a/M_N$ = locked rotor torque / torque nominal					2) at rated power / at full load										
$M_b/M_N$ = break down torque / nominal torque					3) Value is valid only for DOL operation with motor design IC411										
Electrical data										Safe Area					
U	f	P	I	n	M	$\eta$ <sup>3)</sup>			$\cos\phi$ <sup>3)</sup>			$I_a/I_N$	$M_a/M_N$	$M_b/M_N$	IE-CL
[V]	[Hz]	[kW]	[A]	[1/min]	[Nm]	4/4	3/4	2/4	4/4	3/4	2/4	$I_a/I_N$	$T_f/T_N$	$T_B/T_N$	
400	50	110.00	187.00	2982					0.90	0.88	0.82	7.3	2.4	3.0	IE2
690	50	110.00	108.00	2982					0.90	0.88	0.82	7.3	2.4	3.0	IE2
460	60	123.00	182.00	3582					0.90	0.89	0.83	7.0	2.4	3.0	IE2
460	60	110.00	162.00	3585					0.90	0.87	0.81	7.9	2.6	3.3	IE2
IM B3 / IM 1001		FS 315 S		720 kg	IP55	IEC/EN 60034			IEC, DIN, ISO, VDE, EN						
Environmental conditions : -20 °C - +40 °C / 1000 m										Locked rotor time (hot / cold) : 42.5 s   71.4 s					

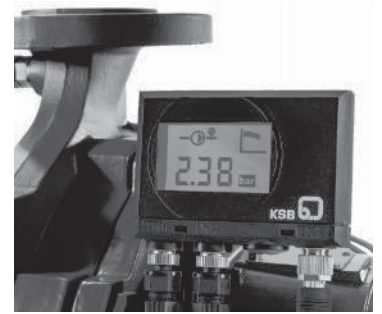
Caractéristiques du Moteur Siemens associé à la pompe (Source Siemens)

## DT 11 : KSB PumpMeter Connexion



Connections at the device

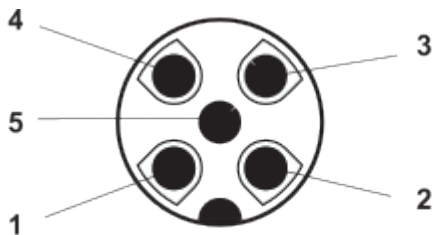
1	N1 /port for the suction-side pressure sensor
2	N2 /port for the discharge-side pressure sensor
3	Service interface
4	EXT /external port for energy supply and signal output



### External port for power supply and signal output

- ✓ The place of installation meets the requirements described above.
- ✓ The device is firmly fitted to the pump.
- ✓ The sensors have been fitted at the factory.

1. Connect the M 12 plug to the external interface (4).



Assignment of the external "EXT" port (bottom of the display unit)

Assignment of the external (EXT) port

Pin	Function	Conductor colours <sup>6)</sup>
1 3	Supply (+24 V DC ±15% , minimum 150 mA)	Pin 1 = brown Pin 3 = blue
2	Analog output (4...20 mA) or RS485 B/D+ (not electrically isolated)	Pin 2 = white
4	Ground (GND)	Pin 4 = black
5	Analog input for motor control frequency (0...10 V corresponds to 0 f <sub>max</sub> ) or RS485 A/D - (not electrically isolated)	Pin 5 = grey

## DT 12 : KSB PumpMeter Paramètre ModBus-RTU

### Modbus

The device has an RS485 interface with Modbus RTU protocol to specification V1.1b.

#### Description of Modbus RTU

Characteristic	Value
Communication protocol	Modbus RTU
Bus terminator	120 ohms (depending on the hardware, (⇒ Section 4.3, Page 11) )  <b>Hardware version 01 to 04:</b> bus terminator fixed, provided internally  <b>Hardware version 05 or higher:</b> bus terminator not provided internally
Interface	EIA -485 (RS485)
Transmission rate	38,400 bit/s (adjustable)
Device type	Slave <sup>9)</sup>
Bus access	Polling between master and slave
Pre-set device address	0xF7 (247)
Communication parameters	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Parity: Even</li> <li>▪ Stop bits: 1</li> <li>▪ Data bits: 8</li> </ul>

If several PumpMeter devices are connected via Modbus, they must be assigned different addresses within the range of 1 to 246.

### Measured values and parameters via Modbus

Various measured values and parameters are provided as device information via the Modbus system.

#### Reading/writing device information

Function	Function code
Reading	Function code 03 (0x03 Read Holding Registers)
Writing	Function code 16 (0x10 Write Multiple Registers)
Coil Command	Function code 05 (0x05 Write Single Coil)

Modbus RTU uses an exclusive 16-bit register. Values which are saved as 32-bit values require two registers to be read.

Register and length are shown as hexadecimal and can be transferred directly to the Modbus RTU protocol in this format.

### NOTE

The registers (4500 ... 4537) can be read out via function code 03 (0x03 Read Holding Registers) as one unit. If an address is incomplete or if read access is denied, 00 is returned.

# DT 13 : KSB PumpMeter Messagerie ModBus-RTU

Register	Length in byte	Type/format	Parameter	Parameter description	Unit	Access	Read out	
							as one unit	individually
45 00	00 02	UINT32	1-1-1	Active error, bit code	Bit 1 = error code E01...bit 20 Error code E20	Read only	X	-
45 02	00 02	INT32	1-1-2	Measured suction pressure	Pa (1 bar = 1 × 10 <sup>5</sup> Pa)	Read only	X	-
45 04	00 02	INT32	1-1-3	Measured discharge pressure	Pa (1 bar = 1 × 10 <sup>5</sup> Pa)	Read only	X	-
45 06	00 02	INT32	1-1-4	Calculated differential pressure	Pa (1 bar = 1 × 10 <sup>5</sup> Pa)	Read only	X	-
45 08	00 02	UINT32	1-1-5	Calculated head	1/1000 m	Read only	X	-
45 15	00 02	UINT32	1-1-6	Flow rate	m <sup>3</sup> /h × 1000	Read only	X	-
45 0C	00 02	UINT32	1-1-8	Pump input power	Watt	Read only	X	-
45 0E	00 01	ENUM	1-1-9	Qualitative indication of the operating point (⇒ Section 6.1, Page 32)	0 = flow rate not displayed 1 = extreme part load (1st quarter) 2 = moderate part load (2nd quarter) 3 = BEP (3rd quarter) 4 = overload (4th quarter) 5 = part load (1st and 2nd quarter) 6 = error EXX (display of operating point disabled)	Read only	X	-
45 0F	00 01	ENUM	1-1-10	Display of EFF icon	0 = EFF icon not displayed (pump operating efficiently) 1 = EFF icon displayed (optimisation required)	Read only	X	-
45 10	00 01	ENUM	1-1-11	Analog output mode	Output 0 = discharge pressure Output 1 = differential pressure Output 2 = flow rate Q	Read only	X	-
45 11	00 02	UINT32	1-1-12	Operating hours of PumpMeter	h	Read only		-
45 13	00 02	UINT32	1-1-13	Number of pump starts	-	Read only	X	-
45 1C	00 02	UINT32	1-1-14	Measured value Q PumpDrive	m <sup>3</sup> /h × 1000	Read / write <sup>10)</sup>	X	-
45 1E	00 01	UINT16	1-1-15	Current speed	rpm	Read only	X	-
45 1F	00 01	UINT16	1-1-16	Frequency inverter output frequency	Hz × 10	Read / write <sup>3)</sup>	X	-
45 20	00 01	UINT16	1-1-17	Rotational speed of PumpDrive	rpm	Read / write <sup>3)</sup>	X	-
45 21	00 02	UINT32	1-1-18	Effective power of PumpDrive	kW × 100	Read / write <sup>3)</sup>	X	-
45 24	00 01	ENUM	1-1-19	Source of speed value	0 = nominal speed of the motor 1 = PDrive frequency inverter 0... 10V 2 = PDrive Modbus	Read only	X	-
45 25	00 02	UINT32	1-1-20	Flow rate based on head	m <sup>3</sup> /h	Read only	X	-
45 29	00 02	UINT32	1-1-21	Flow rate based on pump power output	m <sup>3</sup> /h	Read only	X	-
45 35	00 01	ENUM	1-1-22	Source of flow rate value	0 = estimated value Q <sub>est</sub> 1 = PumpDrive Q <sub>PDrive</sub>	Read only	X	-
45 36	00 01	ENUM	1-1-23	Pump status	0 = pump OFF 1 = pump running	Read only	X	-
45 37	00 02	UINT32	1-1-24	Pump operating hours	Depending on Register 01 02 "Time Unit Operation" (default = h)	Read only	X	-
34 00	00 01	UINT8	3-10-1	Modbus address	Default 247	Read / write	-	X
34 01	00 01	ENUM	3-10-2	Modbus baud rate	0 = 9600 1 = 19200 2 = 38400 3 = 115200	Read / write	-	X
34 02	00 01	UINT8	3-10-3	Modbus Timeout	Default 15s	Read / write	-	X
34 03	00 01	ENUM	3-10-4	IO Mode	0 = Modbus timeout (1 = analog ON/OFF) <sup>11)</sup> 2 = Modbus permanent	Read / write	-	X
33 09	00 01	ENUM	3-3-12	Operating point display	0 = ON 1 = OFF	Read / write	-	X
33 04	00 001	UINT8	3-3-9	EFF tolerance	0 ... 100 %	Read / write	-	X
33 0D	00 01	ENUM	3-3-14	Selectable display value	0 = as connected 1 = head 2 = differential pressure	Read / write	-	X
46 24	00 01	ENUM	3-3-15	Selectable analog output	0 = as connected 1 = head 2 = differential pressure 3 = flow rate Q	Read / write	-	X
45 66	00 01	ENUM	3-1-21	Detection of blade passing frequency	0 = ON 1 = OFF	Read / write	-	X
00 44	00 02	UINT 16	3-7-3	Fluid density	kg/m <sup>3</sup>	Read / write	-	X
01 02	00 01	ENUM	3-5-1	Time unit operation	0 = seconds 1 = minutes 2 = hours 3 = days	Read / write	-	X
70 7B	00 02	UINT32	3-9-4	Nominal frequency	Hz	Read / write	-	X

Table 12: Overview of coil commands

Function code	Output address	Output value	Description
0x05	0x0001	0xFF00	Coil command for resetting the device
0x05	0x0003	0xFF00	Coil command for storing the changed data

## DT 14 : KSB PumpMeter exemples de requêtes et réponses ModBus-RTU

**Example: read parameter 1-1-2 (4502) suction pressure**

**Request:** F7 03 45 02 00 02 64 51

F7            Slave address (247 = F7 hex)  
 03            Function code (read Analog Output Holding Registers)  
 45 02        Data address of first requested register  
 00 02        Total number of requested registers  
 64 51        CRC value<sup>12)</sup> (cyclic redundancy check) for error monitoring

**Response:** F7 03 04 00 00 05 54 6E 93

F7            Slave address (247 = F7 hex)  
 03            Function code (read Analog Output Holding Registers)  
 04            Number of following data bytes (2 registers x 2 bytes = 4 bytes)  
 00 00 05 54    554 hex (value of parameter 0x4502 in [Pa])  
 6E 93        CRC value (cyclic redundancy check) for error monitoring

**Example: write parameter 1-1-20 (4520) Speed PumpDrive -> 2500 rpm**

**Request:** F7 10 45 20 00 01 02 09 C4 9D 93

F7            Slave address (247 = F7 hex)  
 10            Function code (Preset Multiple Registers 16 = 10 hex)  
 45 20        Data address of first register  
 00 01        Number of registers to be written  
 02            Number of following data bytes (1 register x 2 bytes = 2 bytes)  
 09 C4        Value to be written in register 45 20  
 9D 93        CRC value (cyclic redundancy check) for error monitoring

**Response:** F7 10 45 20 00 01 01 99

F7            Slave address (247 = F7 hex)  
 10            Function code (Preset Multiple Registers 16 = 10 hex)  
 45 20        Data address of first register  
 00 01        Number of registers to be written  
 01 99        CRC value (cyclic redundancy check) for error monitoring

**Example: Changing the Modbus address of PumpMeter (parameter 3-10-1) via Modbus**

**Writing parameter 3-10-1** F7 10 34 00 00 01 02 00 01 37 07

F7            Slave address (247 = F7 hex; default address)  
 10            Function code (Preset Multiple Registers 16 = 10 hex)  
 34 00        Data address of first register  
 00 01        Number of registers to be written  
 02            Number of following data bytes (1 register x 2 bytes = 2 bytes)  
 00 01        Value to be written in register 34 00 (new Modbus address = 1)  
 37 07        CRC value (cyclic redundancy check) for error monitoring

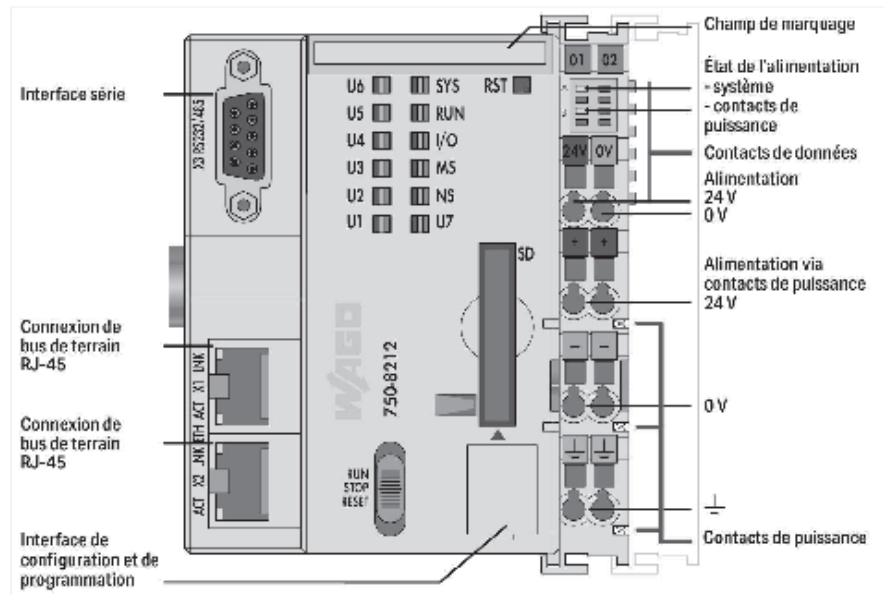
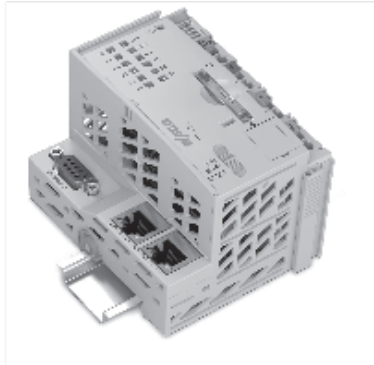
**Saving parameters** F7 05 00 03 FF 00 68 AC

F7            Slave address (247 = F7 hex; make sure to enter old address here!)  
 05            Function code (Write Single Coil)  
 00 03        Coil command (Save Parameters)  
 FF 00        Coil value (FF 00 = ON), saving is activated  
 68 AC        CRC value (cyclic redundancy check) for error monitoring

**Performing reset** F7 05 00 01 FF 00 C9 6C

## DT 15 : Connectivité RS485 WAGO 750-8202

Contrôleurs PFC 200 ; 2<sup>ème</sup> génération ; 2 x ETHERNET, RS -232/-485 750-821 2



### Données

#### Données techniques

Communication	BACnet/IP, nécessite une licence supplémentaire
	Modbus (TCP, UDP)
	ETHERNET
	EtherNet/IP™ -Adapter (esclave), Bibliothèque pour e!RUNTIME
	Modbus RTU
	Interface RS -232
	Interface RS -485
	M QTT
	EtherCAT-Master, nécessite une licence supplémentaire

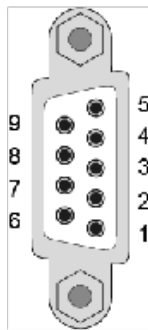
Tension d'alimentation système	24 V DC (-25 ...+30 %) ;surniveau de câblage (connexion CAGE CLAMP®)
Courant d'entrée typ. en charge (24 V)	550 mA
Courant total pour l'alimentation système (5 V)	1 700 mA
Tension d'alimentation terrain	24 V DC (-25 ...+30 %) ;via contacts de puissance



## DT 16 : Connectivité RS485 WAGO 750-8202

### Communication Interface

WAGO I/O System 750  
750-8202 PFC200; 2ETH RS



: RS-232/RS-485 – Communication Interface – X3

Table : Legend for Figure "RS-485 – Communication Interface – X3"

Contact	RS-485	
	Signal	Description
1	NC	Not assigned
2	NC	Not assigned
3	A (Tx/Rx+)	Transmit/receive data +
4	NC	Not assigned
5	FB_GND	Ground
6	FB_5V	Power Supply
7	NC	Not assigned
8	B (Tx/Rx-)	Transmit/receive data -
9	NC	Not assigned
Enclosure	Shield	Shielding

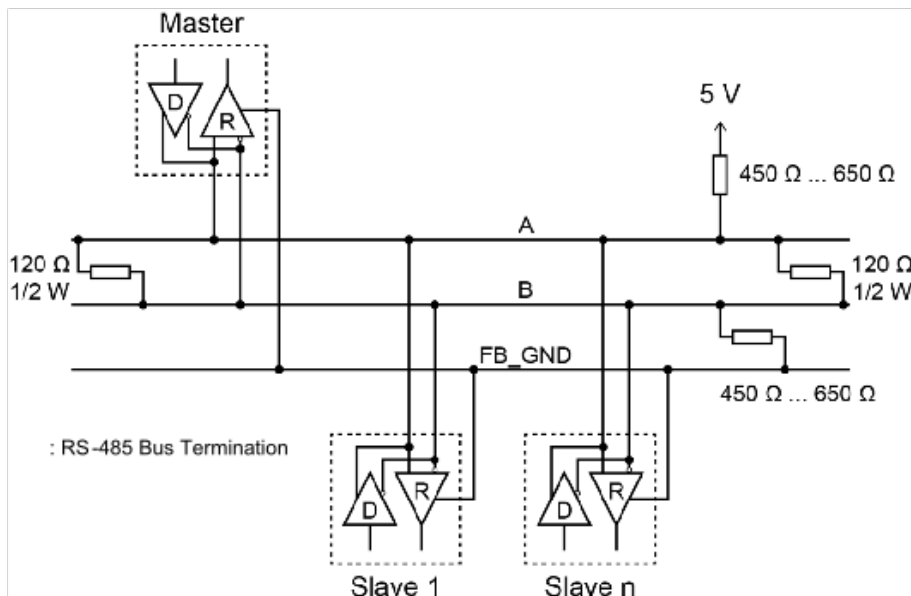
### Operating as an RS-485 Interface

To minimize reflection at the end of the line, the RS-485 line must be terminated at both ends by a cable termination. If required, one pull-up or pull-down resistor may be used. These resistors ensure a defined level on the bus when no subscriber is active, i.e., when all subscribers are in "Tri-state".

#### Attention — bus termination!

The RS-485 bus must be terminated at both ends!  
No more than two terminations per bus segment may be used!  
Terminations may not be used in stub and branch lines!

Operation without proper termination of the RS-485 network may result in transmission errors.

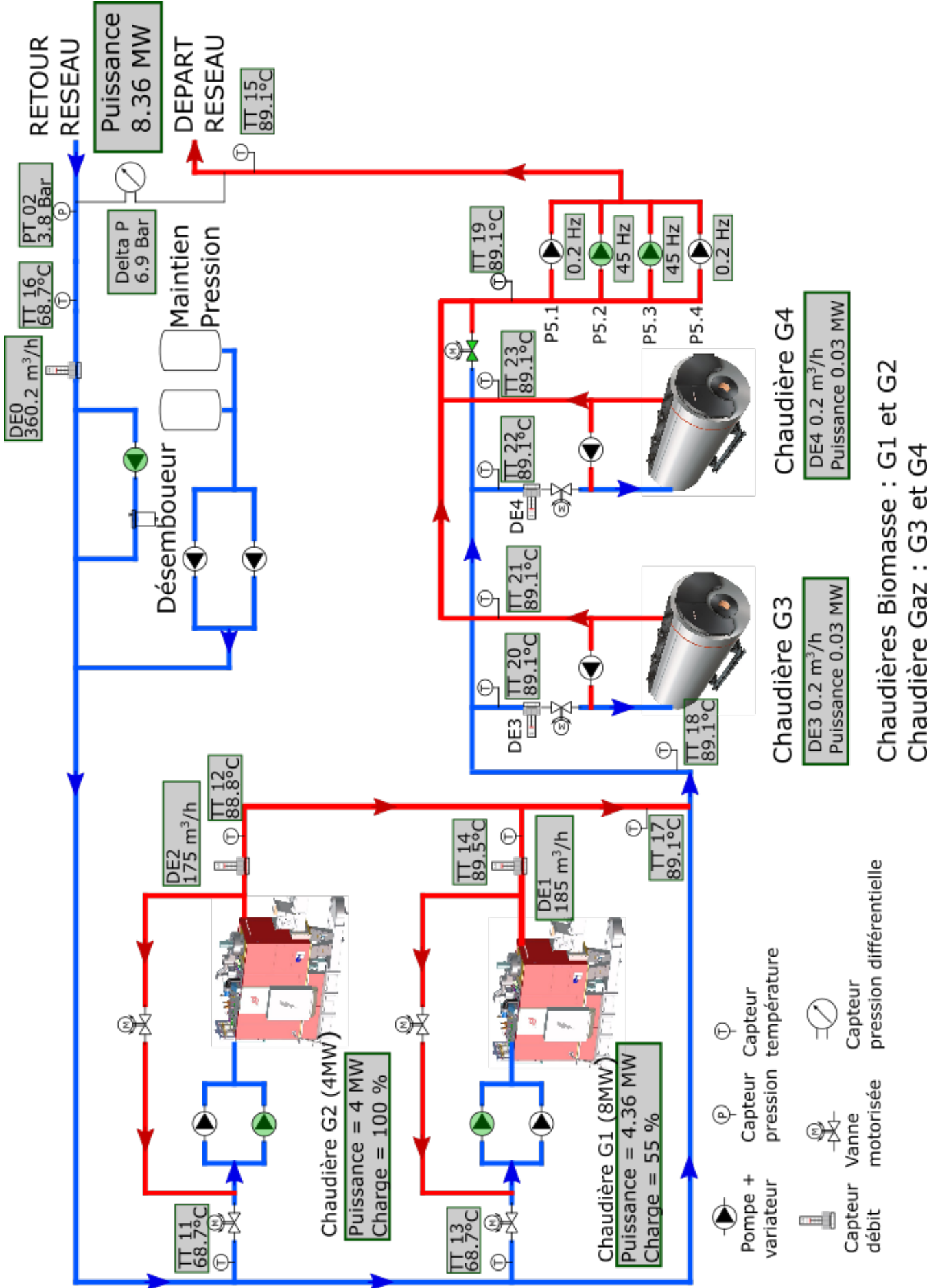


: RS-485 Bus Termination

**IMPORTANT** : la connexion des résistances de Pull-Up entre A et 5 V et Pull-Down entre B et 0 V n'est pas nécessaire pour l'application PumpMaster.

# DT 17 : Supervision générale de la chaufferie ECLA

Mesure au 9 février 2022 à 17h30



## DT 18 : Supervision variateurs / Supervision compteur énergie thermique C0

Mesure au 9 février 2022 à 17h30

### Supervision des variateurs du groupe de pompes P5.1 à P5.4

P5.1



Fréquence :  
0.2 Hz

Puissance élec. :  
0.1 kW

P5.2



Fréquence :  
45 Hz

Puissance élec. :  
70.2 kW

P5.3



Fréquence :  
45 Hz

Puissance élec. :  
70.2 kW

P5.4



Fréquence :  
0.2 Hz

Puissance élec. :  
0.1 kW

### Historique énergie électrique absorbée groupe pompes P5.1 à P5.4

Energie Electrique mensuelle pour le groupe de pression  
du 01/01 au 31/01 2022

125 MWh

Energie Electrique mensuelle pour le groupe de pression  
du 01/12 au 31/12 2021

110 MWh

Energie Electrique mensuelle pour le groupe de pression  
du 01/11 au 30/11 2021

92 MWh

Mesure au 9 février 2022 à 17h30

### Supervision du compteur d'énergie thermique C0 (départ réseau)

Compteur C0 (départ réseau)

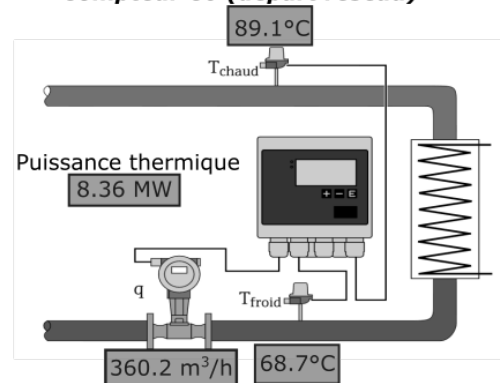


T<sub>chaud</sub> = 89.1°C T<sub>froid</sub> = 68.7°C

Débit = 360.2 m<sup>3</sup>/h

Puissance thermique = 8.36 MW

Compteur C0 (départ réseau)



Historique Compteur C0 (départ réseau)

Energie Thermique livrée mensuelle du 01/01 au 31/01 2022

8 470 MWh

Energie Thermique livrée mensuelle du 01/12 au 31/12 2021

7 609 MWh

Energie Thermique livrée mensuelle du 01/11 au 31/11 2021

6 328 MWh

## DT 19 – Description du convoyeur de biomasse

### Structure générale :

La chambre de combustion de la chaudière est alimentée en combustible (biomasse) par une couche de biomasse d'épaisseur 50 cm. Cette alimentation en combustible est réalisée sur le haut du convoyeur de biomasse incliné et représenté sur la figure ci-dessous.

Ce convoyeur de biomasse est constitué d'un ensemble de 13 gradins, alternativement fixes et mobiles. Chaque gradin est constitué d'une ligne de 14 barreaux.

L'ensemble des 6 gradins mobiles est solidaire d'un chariot mobile, mis en mouvement de translation alternative par un vérin hydraulique de diamètre 16 mm, de débit moyen de 1,2 litre/min et dont la course est de 200 mm.

Le mouvement des 6 gradins mobiles permet ainsi une descente de la biomasse du haut du convoyeur vers la zone d'évacuation des cendres.

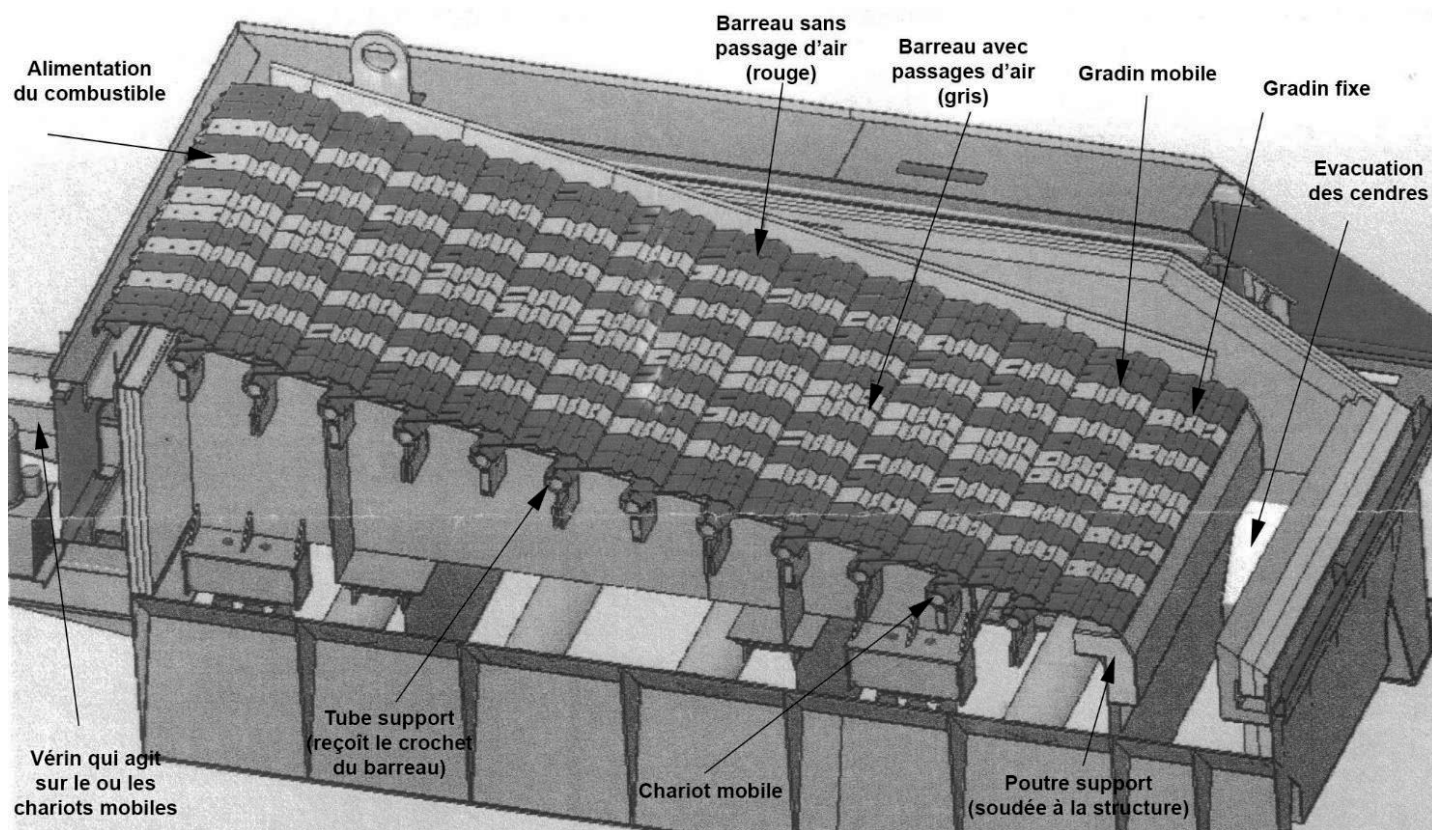


Figure A: Architecture du convoyeur de biomasse.

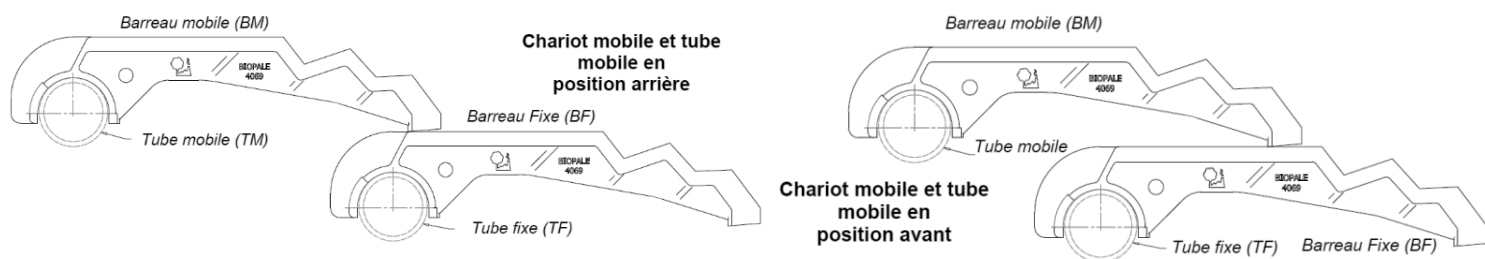


Figure B: Positions extrêmes des barreaux mobiles par rapport aux barreaux fixes

## Remplacement de barreaux lors des deux périodes de maintenance de 15 jours.

Lors de l'opération de maintenance du convoyeur, tous les barreaux fixes et mobiles sont démontés, analysés visuellement et remplacés si l'épaisseur d'usure admissible de 5 mm est dépassée. Cette usure est localisée au niveau des surfaces de frottements entre les barreaux fixes et mobiles.

Le montage des barreaux fixes et mobiles sur leur gradin respectif doit être simple et rapide pour réduire les temps de maintenance. La procédure de montage est la suivante :

- A- Montage des barreaux fixes du premier gradin fixe en bas de la grille du côté de l'évacuation des cendres:
- Le premier **barreau fixe (BF)** est positionné sur le **tube fixe (TF)** du premier gradin, en appui sur le **mur-bâti** et en appui sur la **poutre support** ;
  - Les **barreaux fixes (BF)** suivants sont positionnés sur **tube fixe (TF)** du premier gradin, en appui sur le barreau fixe précédent et en appui sur la poutre support.
  - L'ensemble des **tubes fixes (TF)** de l'ensemble des gradins fixes sont encastrés sur un bâti.

La mise en position d'un barreau fixe peut être modélisée par le schéma cinématique suivant :

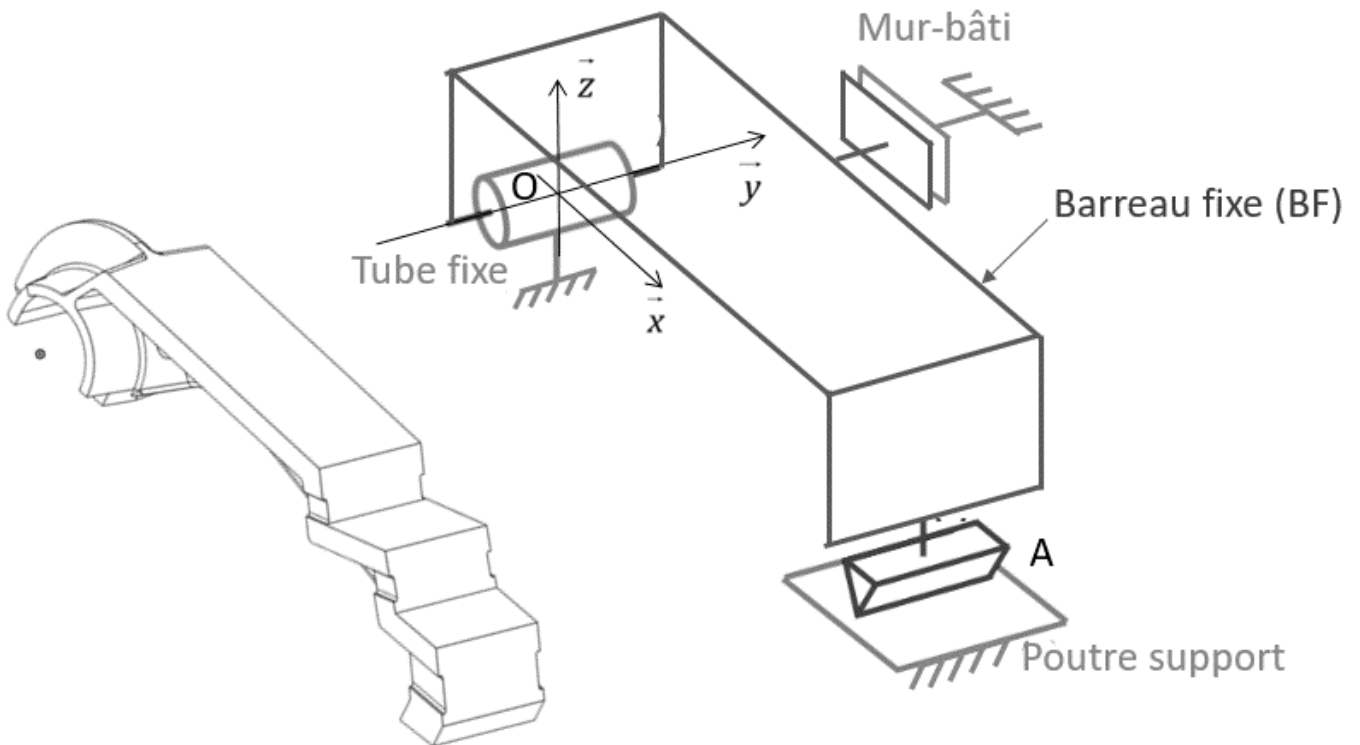


Figure C: Modélisation de la mise en position d'un barreau sur son gradin.

- B- Montage des barreaux mobiles sur le premier gradin mobile:
- Le premier **barreau mobile (BM)** est positionné sur le **tube mobile (TM)** du premier gradin mobile, en appui sur le mur-bâti et en appui sur le premier gradin fixe.
  - Les **barreaux mobiles (BM)** suivants sont positionnés sur le **tube mobile (TM)** du premier gradin mobile, en appui sur le barreau mobile précédent et en appui sur le premier gradin fixe.
  - L'ensemble des **tubes mobiles (TM)** de l'ensemble des gradins mobiles sont encastrés sur un chariot mobile.

Le montage des autres gradins fixes et mobiles suit le même principe.

## DT 20 – Ressources pour la sélection d'un matériau

A) Exemples de caractéristiques intrinsèques d'un matériau :

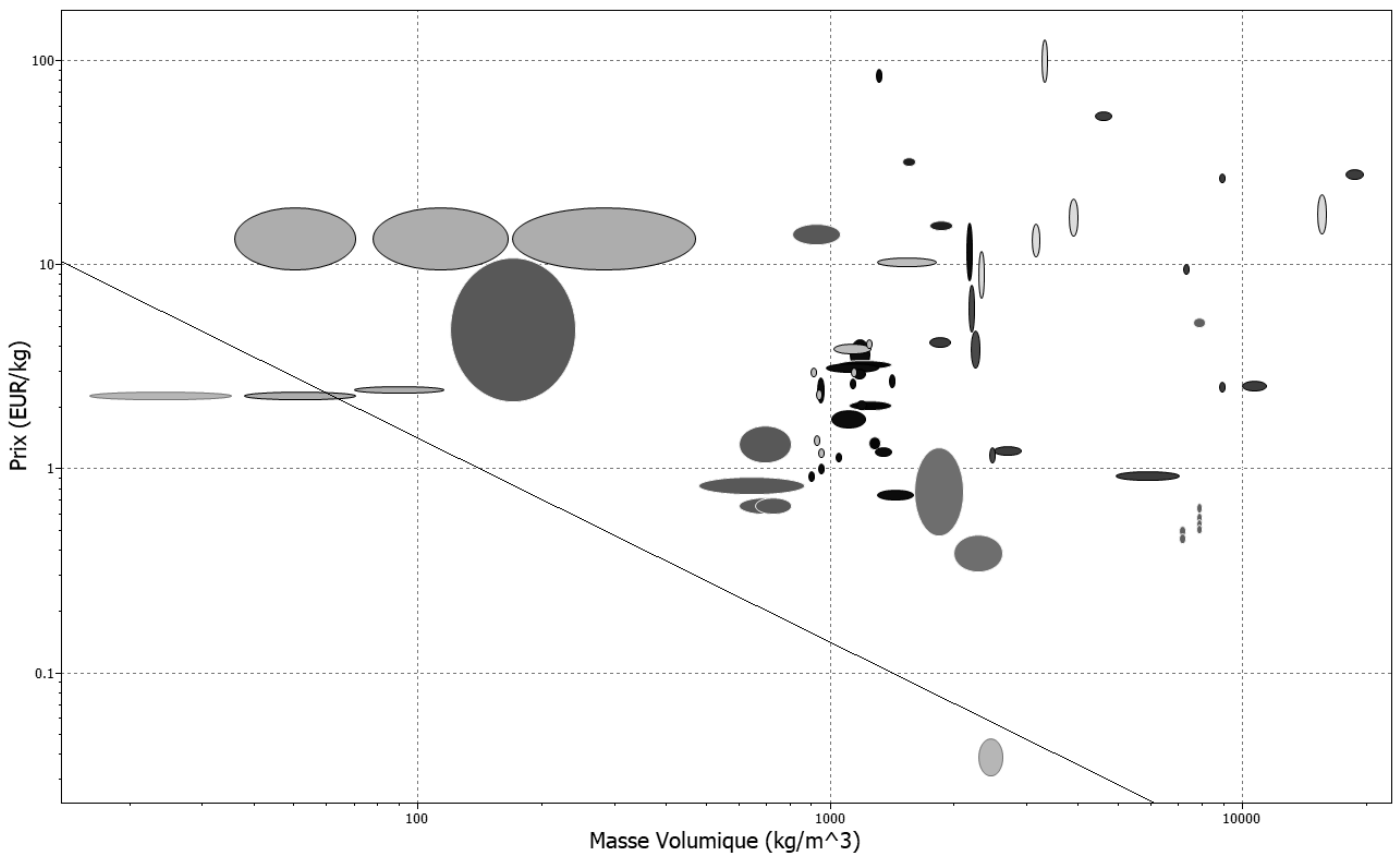
- **Générales** : Volume atomique, Densité, Contenu énergétique, Fraction recyclable, Prix ;
- **Mécaniques** : Module de Young, Module de cisaillement, Module de compressibilité, Limite d'élasticité, Dureté, Résistance en traction, Ductilité, Ténacité, Limite d'endurance, Coefficient d'amortissement
- **Thermiques** : Point de fusion, Transition vitreuse, Température maximale d'utilisation, Chaleur latente de fusion, Chaleur spécifique, Conductivité thermique, diffusivité thermique, Coef. de dilatation
- **Électriques** : Résistivité, Constance diélectrique, Potentiel de claquage.

B) Exemples de caractéristiques interactives d'un matériau :

Résistance à l'eau douce, à l'eau de mer, aux acides, aux bases, aux solvants, à l'oxydation, aux UV, à l'usure.

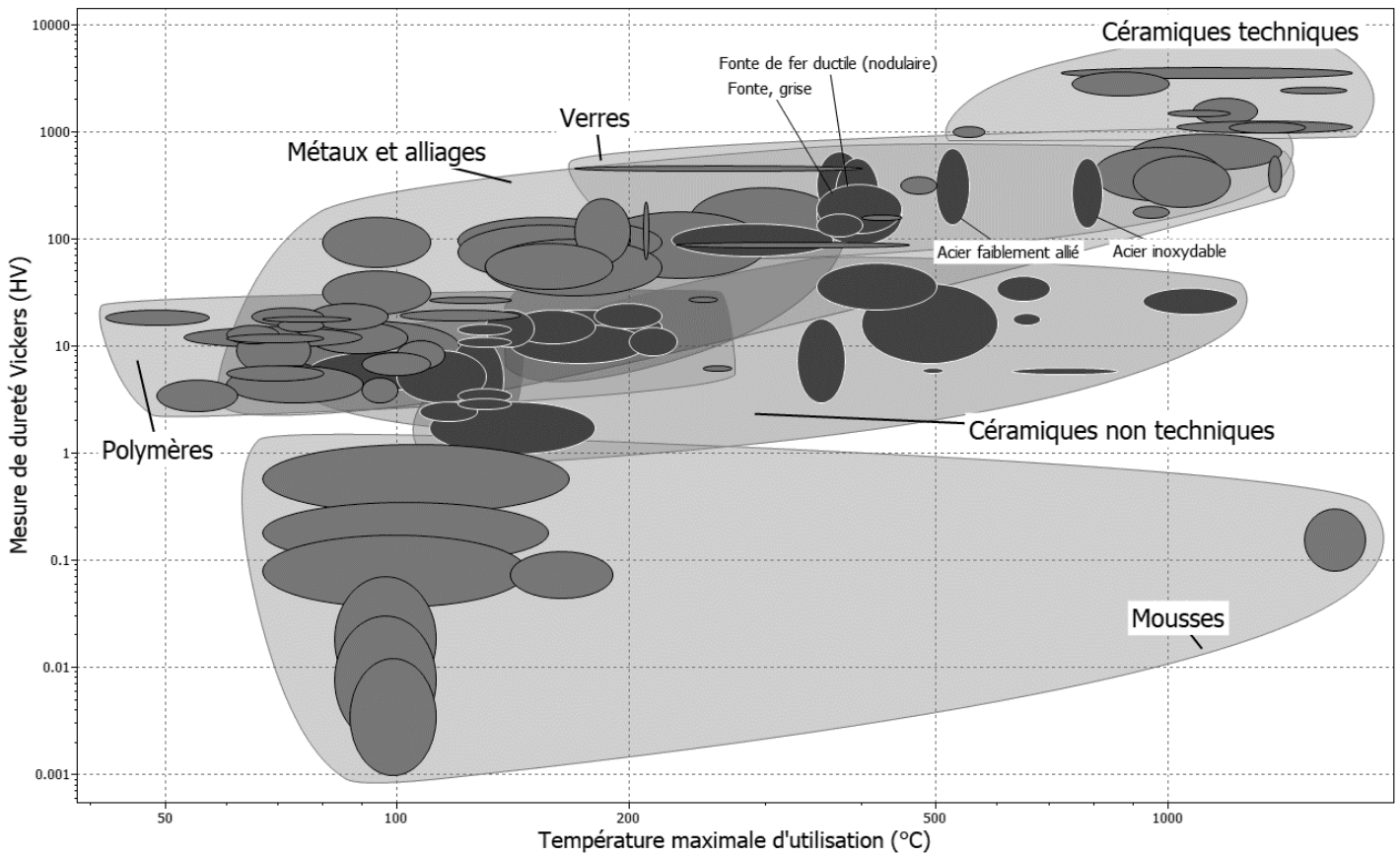
C) Exemple de carte de sélection de matériau :

Le placement d'une droite de pente -1 permet d'isoler, sous la droite, les matériaux qui minimisent le prix et la masse volumique.

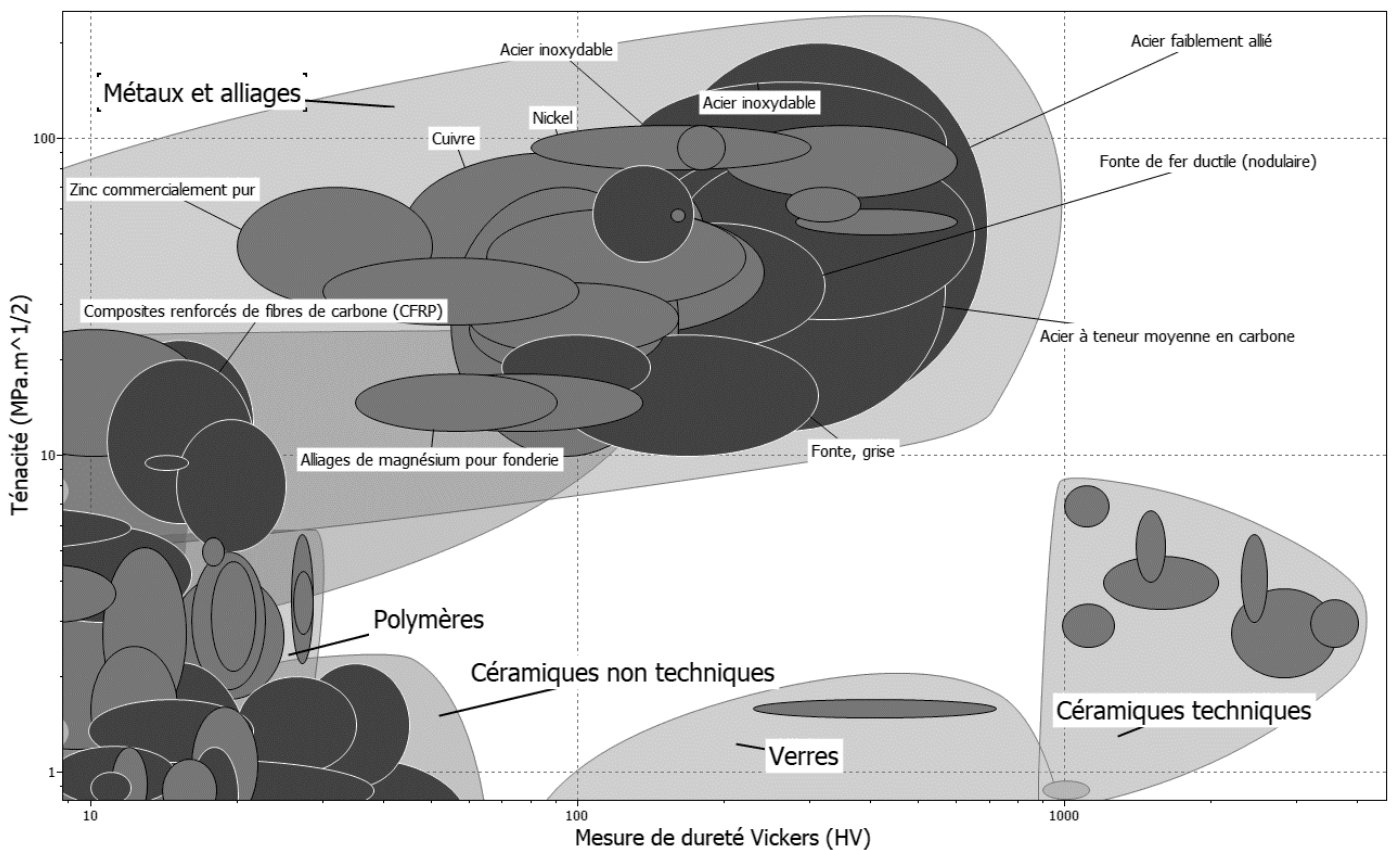


## DT 21 – Diagrammes d’Ashby

Carte de sélection 1 : Dureté (HV) en fonction de la température maximale d'utilisation



Carte de sélection 2 : Dureté HV et ténacité



**Nom de famille :**

(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



**Prénom(s) :**

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Numéro  
Inscription :**

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Né(e) le :**

		/			/				
--	--	---	--	--	---	--	--	--	--

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

**Concours / Examen :** ..... **Section/Sécialité/Série :** .....

**Epreuve :** ..... **Matière :** ..... **Session :** .....

**CONSIGNES**

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Numéroter chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.
- Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.

EAI STI 1

**DR1 - DR2 - DR3**

**Tous les documents réponses sont à rendre,  
même non complétés.**



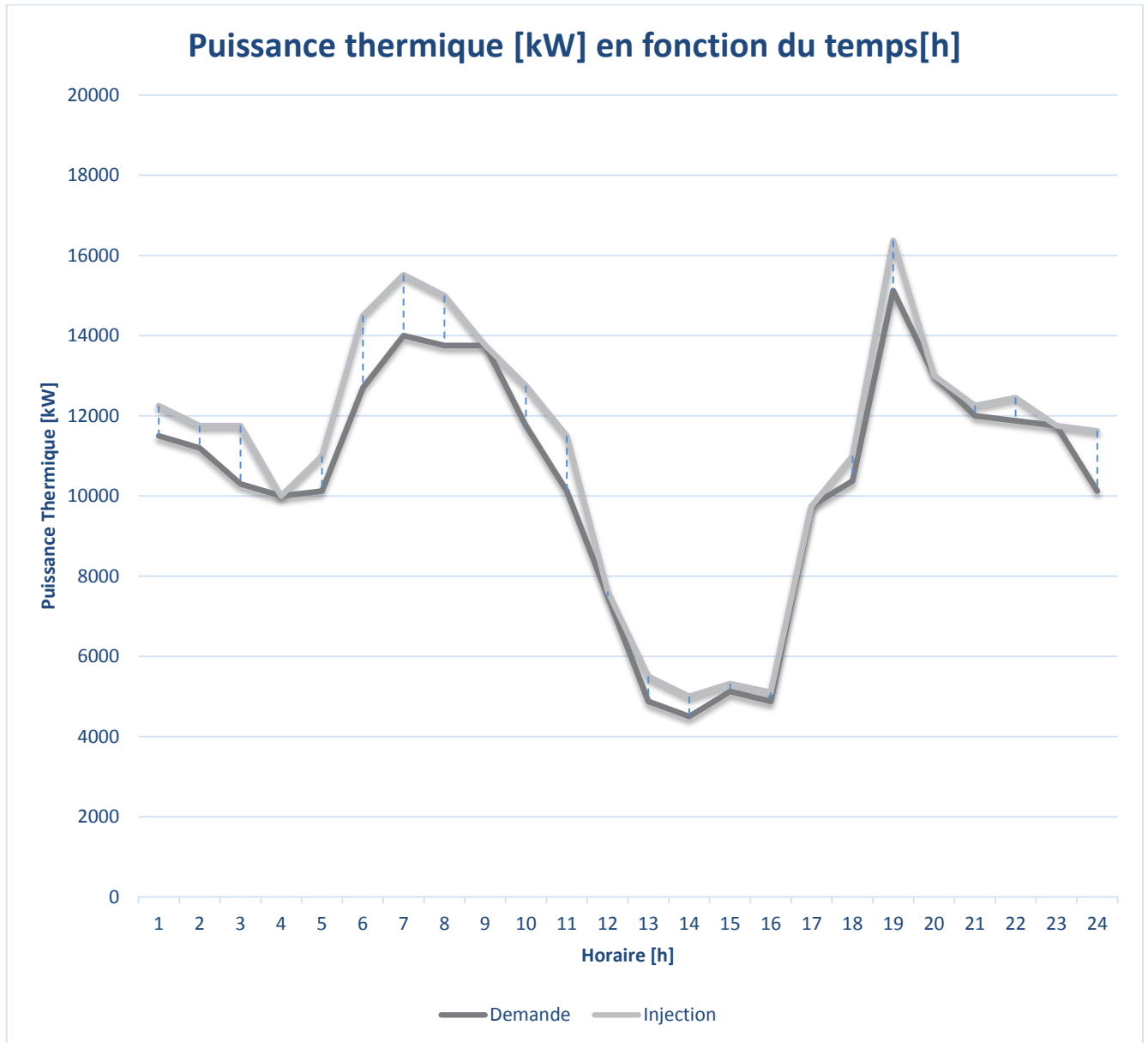
**NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE**

**DR 1 : Relevé de puissances thermiques produites et fournies au sein d'ECLA**

	Puissance thermique disponible en MW		
	ECLA	CLERVIA	ECLA et CLERVIA interconnectés
Cas 1 : toutes les chaudières fonctionnent à pleine puissance			
Cas 2 : seules les chaudières biomasse fonctionnent à pleine puissance			
Cas 3 : la plus petite chaudière biomasse fonctionne à puissance minimale			

## DR 2 : Relevé de puissances thermiques produites et fournies au sein d'ECLA

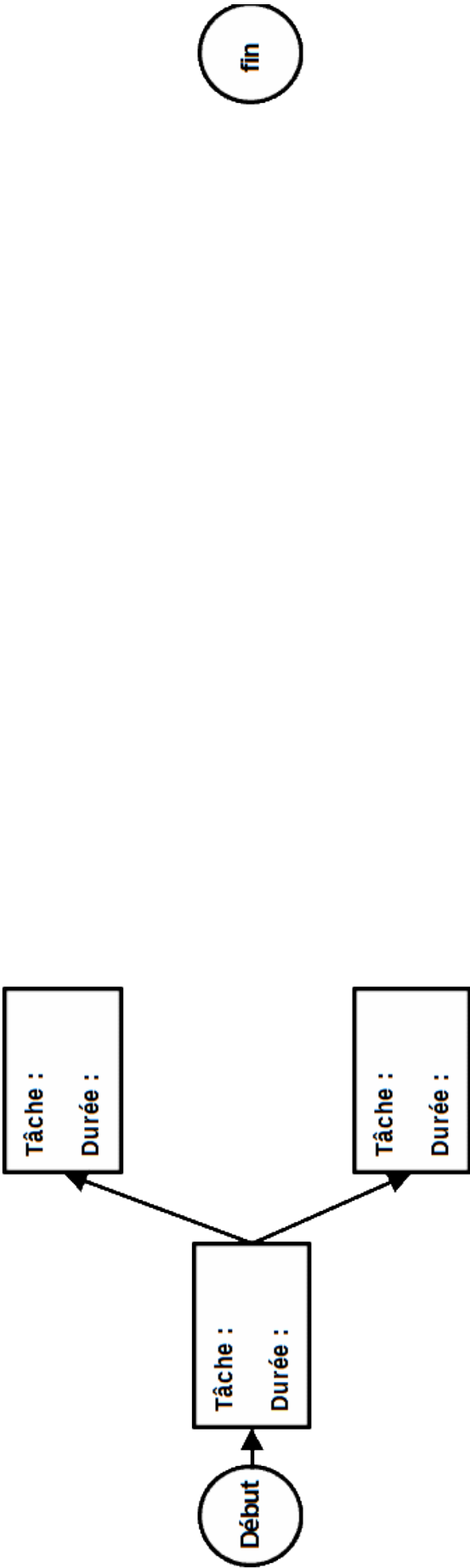
La figure suivante présente le relevé des puissances thermiques produites et fournies le 16 janvier 2019. Les données sont issues de compteurs d'énergie installés au niveau de la chaufferie (injection) et pour l'ensemble des sous-stations du réseau (demande).



Tranche horaire	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	15-16	17-18	19-20	21-22	23-24
Puissance moyenne injectée en MW le 16 janvier 2019	12	10,88	12,75	15,26	13,25	9,56	5,25	5,21	10,37	14,68	12,35	11,68
Puissance moyenne demandée en MW le 16 janvier 2019	11,35	10,15	11,41	13,87	12,75	8,81	4,68	5	10,06	14,06	11,94	10,93
Chaudière bois 8 MW												
Chaudière bois 4 MW												
Chaudière 15 MW												
Chaudière 15 MW												

Remarque : mettre une croix lorsque la chaudière est en marche

**DR 3 : Diagramme des potentiels pour le tronçon « test »**



Nom de famille :

(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)



Prénom(s) :

Numéro  
Inscription :

Né(e) le :

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

Concours / Examen : ..... Section/Spécialité/Série : .....

Epreuve : ..... Matière : ..... Session : .....

**CONSIGNES**

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.
- Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.

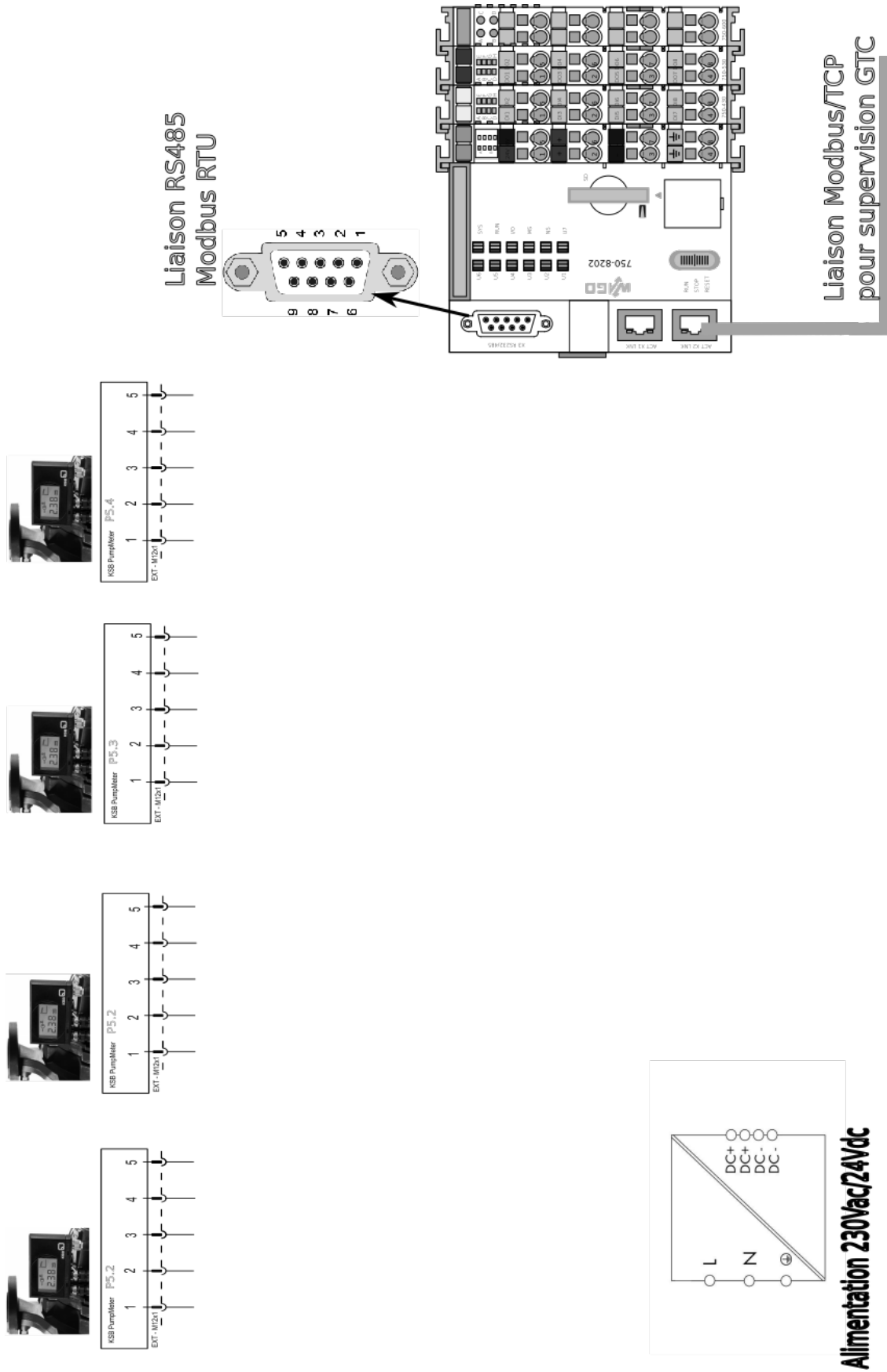
EAI STI 1

# DR4 - DR5

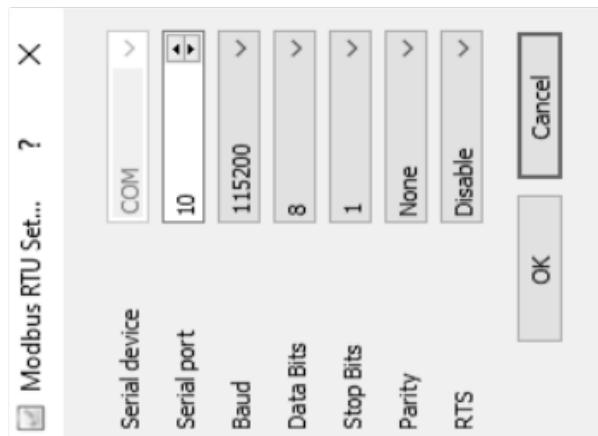
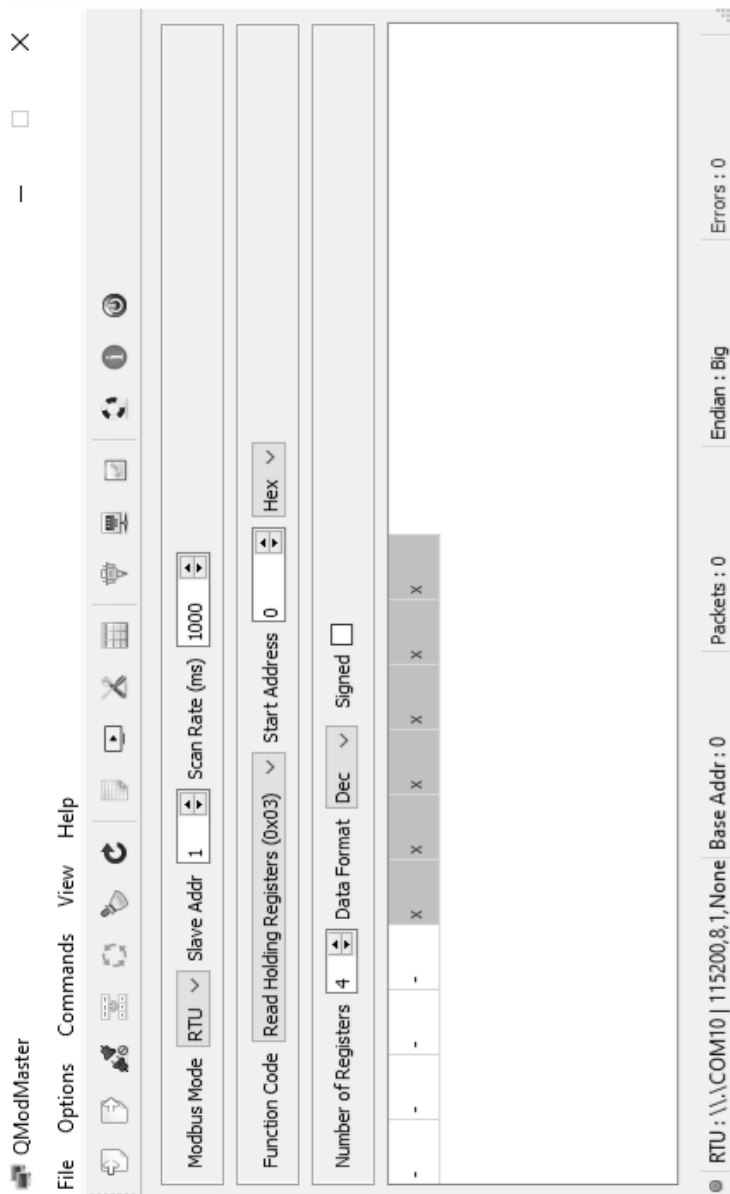
**Tous les documents réponses sont à rendre,  
même non complétés.**

**NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE**

# DR 4 : Liaison Modbus RTU avec automate WAGO 750-8202



## DR 5 : Paramétrage de la liaison Modbus RTU avec qModMaster



Quelles valeurs faudrait-il modifier aux paramètres de QmodMaster afin de tester la communication ModBus-RTU des modules PumpMeter et lire la valeur du débit (FlowRate) en m3/h ?

A compléter :

Paramètres du protocole Modbus-RTU

Slave Addr = ....

Start Address = ....

Number of Registers = ....

Function Code est conservée à Read Holding Registers (0x03)

Paramètres du protocole Modbus-RTU

Baud = ....

Data Bits = ....

Stop Bits = ....

Parity = ....

RTS est laissé à Disable

**Nom de famille :**  
(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



**Prénom(s) :**

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Numéro  
Inscription :**

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Né(e) le :**

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

**Concours / Examen :** ..... **Section/S spécialité/Série :** .....

**Epreuve :** ..... **Matière :** ..... **Session :** .....

**CONSIGNES**

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Numéroter chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.
- Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.

EAI STI 1

**DR6**

**Tous les documents réponses sont à rendre, même non complétés.**



NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

**DR 6 : Liens tâches élèves et compétences**

Phase - Tests et validation		Élève 1 EE	Élève 2 SIN	Élève 3 AC	CO7.1. Réaliser et valider un prototype ou une maquette obtenus en réponse à tout ou partie du cahier des charges initial.		CO7.2. Mettre en œuvre un scénario de validation devant intégrer un protocole d'essais, de mesures et/ou d'observations sur le prototype ou la maquette, interpréter les résultats et qualifier le produit.		
Tâches Élèves	Tps (h)	Tps (h)	Tps (h)	Les moyens mobilisés pour la réalisation du prototype sont adaptés.	Le prototype réalisé permet de valider les performances attendues.	Les conditions de l'essai sont identifiées et justifiées	Le protocole est adapté à l'objectif	Les incertitudes sont estimées.	L'expérimentation est correctement mise en œuvre