

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable

ENSEIGNEMENTS TECHNOLOGIQUES TRANSVERSAUX

Session 2019

Coefficient 8 – Durée 4 heures

Aucun document autorisé

L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé

Valorisation énergétique par méthanisation



Constitution du sujet :

- **Dossier Sujet** (*mise en situation et questions à traiter par le candidat*)
 - **PARTIE 1 (3 heures)** Pages 3 à 11
 - **PARTIE 2 (1 heure)** Pages 12 à 13
- **Dossier Technique** Pages 14 à 24
- **Documents Réponse** Pages 25 à 29

Le dossier sujet comporte deux parties indépendantes qui peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

Les documents réponse DR1 à DR5 (pages 25 à 29) seront à rendre agrafés avec vos copies.

Mise en situation

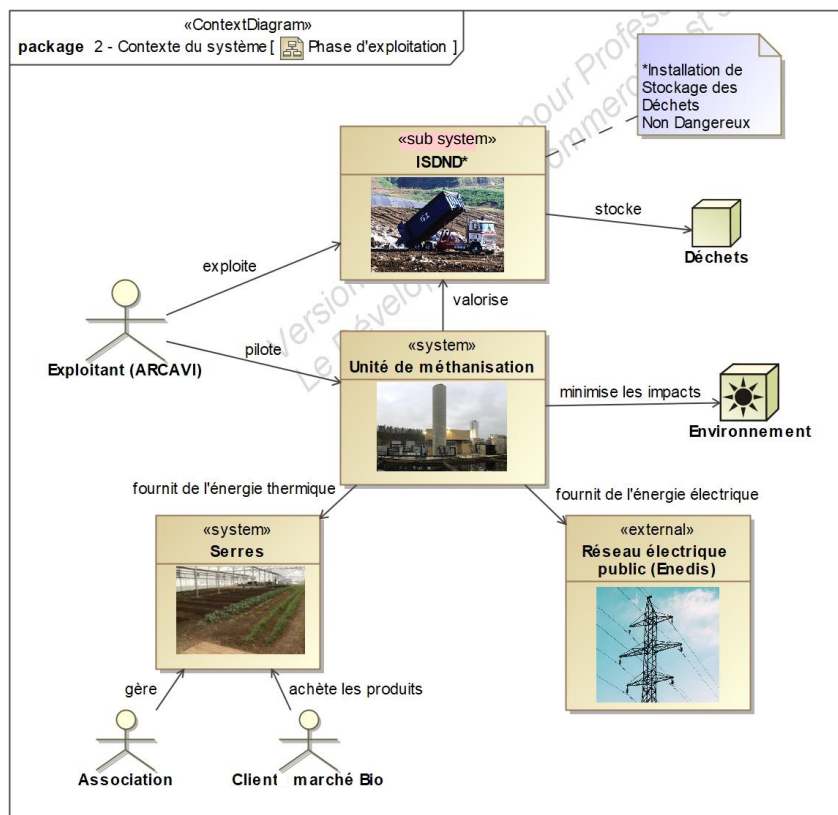
Dans certaines installations de stockage de déchets non-dangereux (ISDND), les déchets organiques provenant des ordures ménagères peuvent être valorisés par méthanisation. Ce procédé consiste à capter le biogaz résultant de la fermentation afin de produire de l'énergie électrique et de la chaleur.

La société anonyme d'économie mixte ardennaise d'amélioration du cadre de vie (SAEM ARCAVI) exploite, depuis 1978, l'ISDND située à 2 km du village d'Éteignières (08) et n'a cessé d'innover en termes d'efficacité pour gérer et traiter les déchets des Ardennais. Le site d'Éteignières représente la plus grosse exploitation de biogaz du département. En 2016, l'installation a permis de traiter 105 000 tonnes de déchets.

L'énergie électrique produite par les génératrices d'une puissance totale de 1,5 MW est injectée sur le réseau. La chaleur est utilisée d'une part pour les besoins du site (station d'épuration) et pour chauffer des serres d'une surface de 2 500 m².

Les serres, implantées sur une parcelle cultivable de 6 hectares, sont gérées par l'association « les maraîchers d'Arduina ». Cette entreprise d'insertion professionnelle vend au détail sa production de fleurs et de légumes issus de cultures biologiques et a pour objectif à moyen terme de fournir la restauration collective locale.

Diagramme de contexte :



Les études proposées porteront sur l'unité de méthanisation (partie 1) et les serres (partie 2). Les deux parties de l'étude sont indépendantes et peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

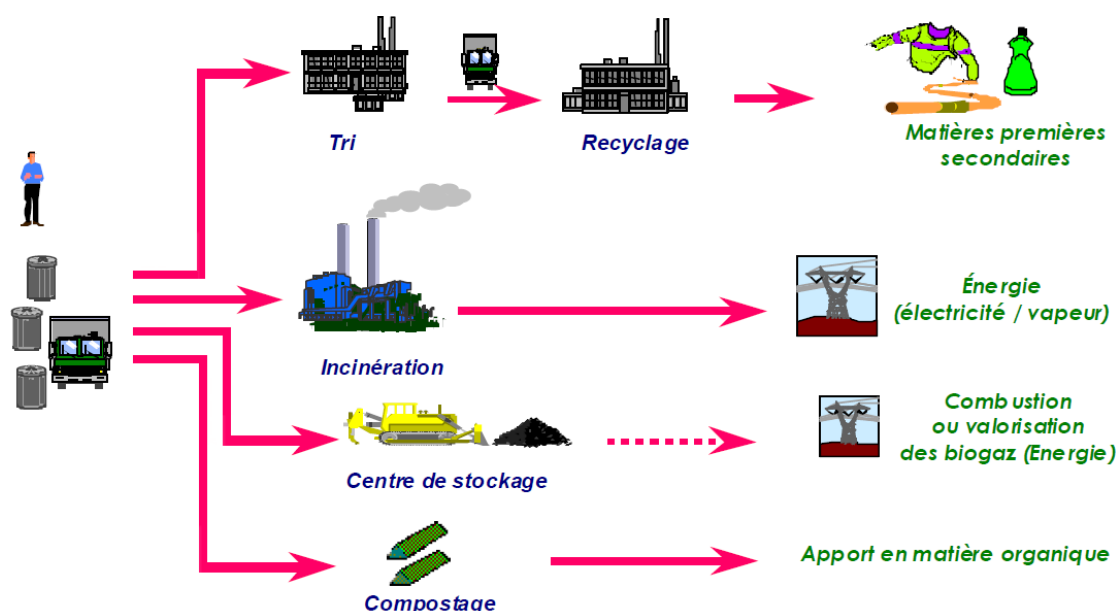
Travail demandé

PARTIE 1 - Unité de méthanisation

INTÉRÊT DE LA VALORISATION ÉNERGÉTIQUE SUR LE SITE D'ÉTEIGNIÈRES

L'objectif de cette partie est de vérifier que l'exploitation du biogaz produit sur le centre de stockage de déchets répond à une politique de développement durable.

La loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) du 17 août 2015 a notamment pour objectif de promouvoir l'économie circulaire. Dans le contexte du cycle de vie d'un produit, les déchets devront de plus en plus s'inscrire dans ce type d'économie. Ceci nécessite un tri indispensable avant la collecte par tout citoyen, une collecte sélective et la recherche d'une valorisation par réutilisation ou par transformation en matières premières. Le stockage avec méthanisation permet une valorisation énergétique et une réduction des émissions des gaz à effet de serre. Il permet d'éviter le rejet dans l'atmosphère de méthane, inévitablement produit par les déchets organiques.



Source : ACV déchets ADEME-AMORCE Fév. 2005

Question 1.1 | En vous aidant de la figure ci-dessus et du DT1, **répertorier** les différentes filières de traitement des déchets ménagers et **identifier** la filière liée à l'étude.

DT1

Le site d'Éteignières a une capacité annuelle de 105 000 tonnes de déchets traités. Le biogaz produit est classé dans la catégorie des énergies renouvelables et évite l'émission de rejet de gaz à effet de serre. La valorisation énergétique de celui-ci représente une somme annuelle de 750 000 euros. Cette somme permet de réduire la facture des ordures ménagères pour les particuliers et contribue au développement des procédés du site. Pour l'exploitation, 12 salariés travaillent à plein temps. De plus, des emplois indirects sont indispensables pour assurer les services associés (transport, maintenance, contrôles...).

Question 1.2 | À partir du texte ci-dessus, **justifier** la démarche de développement durable en identifiant un argument associé à chaque pilier (social, économique et environnemental).

Question 1.3

Voir DT1, DT2

À partir des DT1 et DT2, **identifier** les destinataires des deux énergies produites par les moteurs de cogénération.

La consommation électrique moyenne en France d'un foyer est de $3,2 \text{ MWh} \cdot \text{an}^{-1}$. **Calculer** le nombre de foyers pouvant être alimentés.

COMPRESSEUR DU GROUPE DE CIRCULATION AÉRAULIQUE

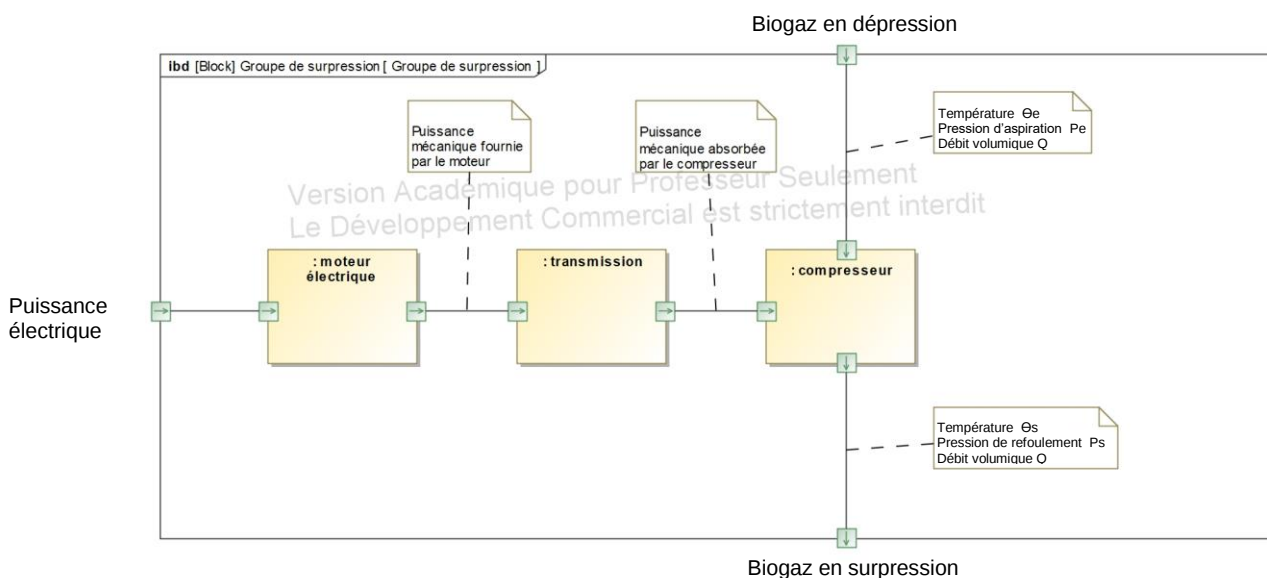
L'objectif de cette partie est de valider le choix du compresseur du réseau de biogaz puis de vérifier la cohérence d'un modèle de simulation permettant de dimensionner un nouveau groupe de surpression.

Un groupe de circulation aéraulique (encore appelé groupe de surpression) assure à la fois l'aspiration du biogaz depuis les différents puits de captage et le refoulement vers les postes de traitement (tour de désulfuration) pour un nettoyage indispensable avant l'injection dans les moteurs de cogénération (voir DT1). Le réseau de biogaz fonctionne donc en dépression en amont du groupe de circulation et en surpression en aval.

Récemment, l'implantation d'une tour de désulfuration biologique pour améliorer la qualité du biogaz a nécessité de redimensionner le groupe de circulation aéraulique. Il se situe juste en amont de la tour de désulfuration biologique. La pression relative de refoulement est régulée à $+80 \text{ mbar}$ pour un fonctionnement optimal de cette tour. Les pertes de charge liées à la modification du réseau d'acheminement sont négligeables et l'aspiration du biogaz est assurée par la présence d'une pression relative de -70 mbar .

Le débit volumique du réseau aéraulique est $Q = 800 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

La chaîne de puissance du groupe de surpression est donnée ci-dessous :



Question 1.4

Voir DT3

Répondre sur DR3

Après lecture du DT3, **indiquer** le type de groupe de circulation le plus adapté (compresseur volumique ou centrifuge).

Calculer la pression différentielle ($\Delta p = P_{\text{sortie}} - P_{\text{entrée}}$) puis **tracer** sur le DR3 le point de fonctionnement résultant du débit et de la pression différentielle indiqués ci-dessus. **Relever** la (ou les) référence(s) du (ou des) groupe(s) de circulation pouvant être retenue(s).

Puissance du compresseur

Pour estimer la puissance à fournir par le circulateur aéraulique, un logiciel de dimensionnement fluide est utilisé. Les hypothèses considérées sont les suivantes :

- gaz supposé incompressible ;
- pas d'échange thermique et pas de variation de température du fluide ;
- vitesse, volume et débit constants ;
- écoulement sans frottement ;
- pas de dénivelé entre l'aspiration et le refoulement.

Le DT4 présente le résultat de la simulation au point de fonctionnement étudié.

Question 1.5 | Sur DT4, **relever** la valeur simulée de la puissance mécanique absorbée par le compresseur.

Voir DT4

Le constructeur du groupe fournit (DR1) des courbes de fonctionnement relevées sur l'équipement réel.

Question 1.6 | Sur le DR1, **tracer** et **relever** la valeur mesurée de la puissance mécanique absorbée nécessaire à l'entraînement du compresseur au débit prévu. **Comparer** les deux valeurs obtenues.

Répondre sur
DR1

Sur le DR1, **tracer** et **relever** la valeur de la température θ_s en sortie du compresseur en fonction du débit souhaité, sachant que la température θ_e en entrée est de 25°C.

Question 1.7 | **Calculer** la différence de température du biogaz ($\Delta\theta = \theta_s - \theta_e$) entre l'entrée (gaz en dépression) et la sortie du compresseur (gaz en surpression). **Indiquer** si cette différence de température a été paramétrée dans le logiciel de dimensionnement fluide.

Voir DT4
Répondre sur
DR1

Justifier les écarts de puissances constatés au regard des hypothèses formulées.

TOUR DE DESULFURATION

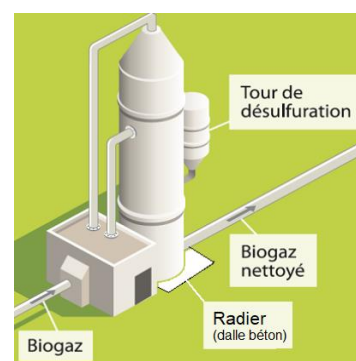
L'objectif est de déterminer la résistance des points de fixation, les contraintes exercées sur le sol et de vérifier si celui-ci peut les supporter.

La tour de désulfuration repose sur un radier (dalle en béton armé) qui repose lui-même sur le sol (voir DT5).

La tour est ancrée sur le radier par 12 points de fixation.

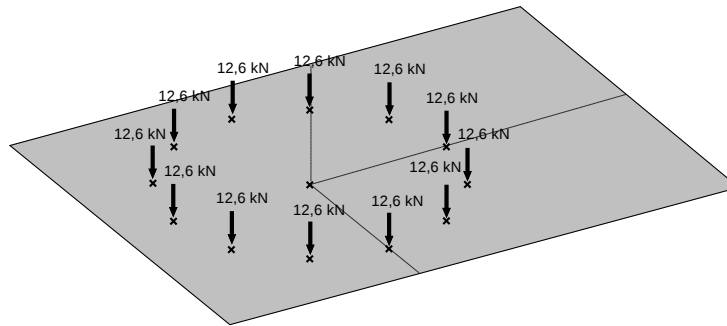
Le sol doit donc résister :

- aux charges permanentes et d'exploitation de la tour ;
- au poids propre du radier ;
- aux charges climatiques.



Charges permanentes et d'exploitation de la tour

Les charges permanentes et d'exploitation de la tour sont de 151 kN, une simulation des charges permanentes et d'exploitation de la tour est représentée ci-dessous :



Question 1.8 | **Justifier**, par un calcul, la valeur de 12,6 kN.

Justifier pourquoi la force due aux charges permanentes et d'exploitation de la tour sur un point de fixation est modélisable par une force verticale orientée vers le bas.

Charges dues aux vents

L'action du vent sur la tour est étudiée avec l'hypothèse suivante : vitesse du vent de $41,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Question 1.9 | **Déterminer** la vitesse du vent en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Évaluer et **justifier** la probabilité que le vent atteigne ou dépasse cette valeur (probabilité élevée ou faible).

L'action du vent peut se modéliser par une charge linéique de $2,5 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$ agissant sur toute la hauteur de la tour. Cette charge linéique est équivalente à une force résultante exercée à mi-hauteur de la tour représentée sur le DT5.

Question 1.10 | **Calculer** l'action du vent modélisée par cette force horizontale.

Voir DT5

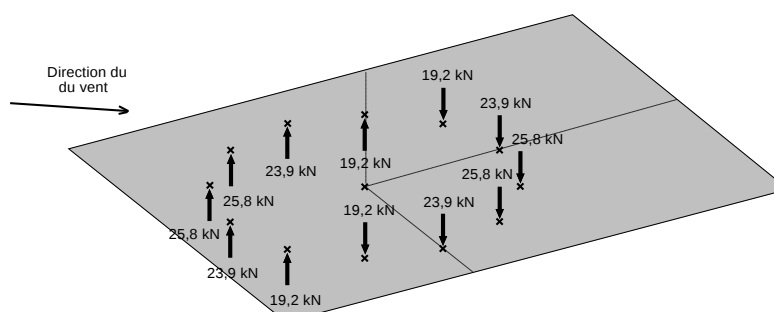
L'action du vent sur la tour engendre une action de la tour sur le radier.

Cette action de la tour sur le radier peut être modélisée par un moment engendré par la force précédente.

Question 1.11 | À partir du DT5, **calculer** la valeur du moment de cette force au point O en $\text{kN}\cdot\text{m}$.

Voir DT5

Une simulation d'un cas de charges de vent sur la tour est représentée ci-dessous :



Question 1.12 | À l'aide de la figure précédente, **préciser** pourquoi certaines forces sont orientées vers le bas et d'autres vers le haut, sous l'action du vent.

Vérification de la résistance à l'arrachement des points de fixation

Caractéristiques des points de fixation :
 vis $\Phi 27$; pas 3 mm ; Re = 640 MPa
 précontrainte de serrage : 30 kN
 section minimale 460 mm² (partie filetée)

Question 1.13 | En utilisant les résultats de la simulation présentée, **indiquer** la force que subit l'élément de fixation le plus sollicité à l'arrachement sous l'effet du vent seul. Compte tenu des efforts dus aux charges d'exploitation et permanente, à la précontrainte de serrage, **calculer** pour cet élément la force résultante, **indiquer** le type de sollicitation (traction ou compression) qu'il subit.

Question 1.14 | À l'aide du DT5, **déterminer** la contrainte maximale subie par le tirant et **calculer** le coefficient de sécurité.
 Voir DT5 | Le coefficient de sécurité pour ce type d'installation est de 2, **conclure** sur les tirants choisis.

Résistance du sol

La simulation du DT5 donne les pressions exercées par la structure {tour + radier} sur le sol en conditions de vent les plus défavorables.

Le sol est de portance modérée : il résiste à une pression admissible de 0,2 MPa (1 Pa = 1 N·m⁻²).

Question 1.15 | **Relever**, sur le résultat de la simulation, la valeur de la pression maximale exercée par la structure {tour + radier} sur le sol. **Conclure** sur la capacité du sol à résister à la pression.
 Voir DT5 | **Proposer** une solution dans le cas où la pression exercée par la structure {tour + radier} sur le sol serait trop élevée.

VALORISATION ÉNERGÉTIQUE DU BIOGAZ PAR LA COGÉNÉRATION

L'objectif est de montrer l'intérêt d'utiliser et de valoriser l'énergie contenue dans le biogaz.

Pour valoriser le biogaz, la société produit de l'énergie électrique et thermique en utilisant comme technologie la cogénération.

Question 1.16 | À l'aide du DT6, **citer** l'intérêt de la cogénération énergétique.
 Voir DT6 et DR3 | À l'aide du DT6 et du DR3, **compléter** le diagramme du DR2 en identifiant la nature des flux.
 Répondre sur DR2

Question 1.17 | **Relever** sur les DT7 et DT8 le pouvoir calorifique volumique (PC) du biogaz en kWh·m⁻³ et pour le module de cogénération n°1, le débit volumique de biogaz consommé en m³·h⁻¹. **En déduire** la puissance délivrée par le combustible en kW.
 Voir DT7 et DT8 | Répondre sur DR3

Question 1.18 | À l'aide du DT8, **compléter** la chaîne de puissance du module de cogénération N°1 sur le DR3, en précisant les valeurs des puissances et celle du rendement global.

Voir DT8
Répondre sur DR3

La société dispose d'un second module de cogénération (voir module de cogénération n°2 sur le DT7).

On donne sur le DT9 les différentes puissances avec récupération de chaleur pour le module de cogénération n°2.

Question 1.19 | À partir du DT9, **calculer** les rendements avec et sans récupération d'énergie thermique du module N°2 alimenté au biogaz. **Justifier** l'intérêt de la cogénération.

Voir DT9

Pour valoriser la production d'énergie d'un point de vue impact environnemental, deux modes de production d'énergie sont comparés. L'un utilise du gaz naturel (méthane 100 % de CH₄) et l'autre, du biogaz constitué de 65 % de méthane et 35 % de CO₂.

Question 1.20 | À l'aide du DT8 et de l'exemple de production du DT9, **calculer** la masse de CO₂ rejetée par chaque mode de production en une heure. Sachant que le potentiel de réchauffement global du méthane est 25 fois plus élevé que celui du CO₂, **expliquer** l'intérêt d'exploiter le biogaz du point de vue énergétique et impact environnemental.

Voir DT8 et DT9

ANALYSE DES FLUX D'ÉNERGIE SUR LE RÉSEAU DE CHALEUR POUR DIFFÉRENTES CONFIGURATIONS

L'objectif est d'étudier une solution qui permette de faire face à une anomalie d'un moteur en poursuivant la valorisation du biogaz, sans trop altérer le fonctionnement du site ni celui des serres d'horticulture.

Le réseau de chaleur est principalement alimenté par les deux unités de cogénération (groupes moteurs 1 et 2). En cas de besoin, une chaudière de type biochaude (voir DT1 et DT2), qui utilise un brûleur spécifique biogaz, vient compléter les apports thermiques nécessaires ; elle constitue le générateur le plus flexible.

Les récepteurs fonctionnent rarement à leur puissance nominale. Les besoins varient en fonction de la température extérieure. De plus, ils sont peu sensibles aux variations brusques de puissance thermique.

Au centre du réseau de chaleur, une bouteille de découplage hydraulique assure une fonction de tampon énergétique de part le volume d'eau qu'elle renferme et permet le transfert thermique avec des débits d'eau différents. Le DT10 présente le principe de fonctionnement d'une bouteille de découplage hydraulique dans les conditions de l'exploitation du réseau d'eau chaude.

Question 1.21 | À l'aide du DT10, **tracer** sur le DR4, en rouge, la circulation de l'eau en sortie de l'échangeur primaire du moteur 1 vers la bouteille de découplage, en indiquant par des flèches le sens de déplacement du fluide.

Voir DT10
Répondre sur DR4

Tracer, en bleu, la circulation de l'eau en sortie de la bouteille de découplage vers l'échangeur primaire du moteur 1, toujours en indiquant par des flèches le sens de déplacement du fluide.

Sur le même principe pour le circuit secondaire du bassin biologique, **tracer** en rouge la circulation de l'eau en amont de l'échangeur secondaire et en bleu la circulation de l'eau en aval, toujours en indiquant par des flèches le sens de déplacement du fluide.

La production énergétique journalière sur le site dépend de la disponibilité du biogaz et de sa teneur en méthane, variables en fonction des conditions météorologiques et d'extraction.

Pour le réseau de chaleur, la consommation et la production sont liées. Les récepteurs possèdent tous une grande inertie thermique. Les circulateurs du réseau d'eau chaude sont pilotables en permanence.

Les questions suivantes ont pour objectif d'illustrer la gestion des puissances sur le réseau de chaleur suite à une anomalie sur le moteur 1.

La situation de l'exploitation du réseau de chaleur avant l'anomalie nécessitant l'arrêt du moteur 1 est donnée dans le tableau ci-dessous :

Générateurs											
Moteur 1				Moteur 2				Biochaude			
Q_{M1} (m ³ .h ⁻¹)	θ_{A_M1} (°C)	θ_{R_M1} (°C)	P_{M1} (KW)	Q_{M2} (m ³ .h ⁻¹)	θ_{A_M2} (°C)	θ_{R_M2} (°C)	P_{M2} (KW)	Q_{Bc} (m ³ .h ⁻¹)	θ_{A_Bc} (°C)	θ_{R_Bc} (°C)	P_{Bc} (KW)
34,4	89,8	76,3	540	25,2	88,5	75,3	387	0	89,1	75,2	0
Récepteurs											
Bassin biologique				Evapo-concentrateur				Serres			
Q_{Bb} (m ³ .h ⁻¹)	θ_{D_Bb} (°C)	θ_{R_Bb} (°C)	P_{Bb} (KW)	Q_E (m ³ .h ⁻¹)	θ_{D_E} (°C)	θ_{R_E} (°C)	P_E (KW)	Q_S (m ³ .h ⁻¹)	θ_{D_S} (°C)	θ_{R_S} (°C)	P_S (KW)
28,7	81,2	73,4	260	64,8	80,3	73,8	490	9,5	79,7	68,2	127

Tableau n°1

Le second tableau présente la situation de l'exploitation juste après l'arrêt du moteur 1. L'inertie thermique du moteur 1 n'est pas prise en compte. Des choix ont été effectués par le technicien en charge de l'exploitation.

Générateurs											
Moteur 1				Moteur 2				Biochaude			
Q_{M1} (m ³ .h ⁻¹)	θ_{A_M1} (°C)	θ_{R_M1} (°C)	P_{M1} (KW)	Q_{M2} (m ³ .h ⁻¹)	θ_{A_M2} (°C)	θ_{R_M2} (°C)	P_{M2} (KW)	Q_{Bc} (m ³ .h ⁻¹)	θ_{A_Bc} (°C)	θ_{R_Bc} (°C)	P_{Bc} (KW)
0	87,2	75,5	0	25,4	87,8	74,7	387	0	88,3	74,5	0
Récepteurs											
Bassin biologique				Evapo-concentrateur				Serres			
Q_{Bb} (m ³ .h ⁻¹)	θ_{D_Bb} (°C)	θ_{R_Bb} (°C)	P_{Bb} (KW)	Q_E (m ³ .h ⁻¹)	θ_{D_E} (°C)	θ_{R_E} (°C)	P_E (KW)	Q_S (m ³ .h ⁻¹)	θ_{D_S} (°C)	θ_{R_S} (°C)	P_S (KW)
14,4	80,5	72,7	131	32,9	79,5	73,1	245	4,7	79,1	67,3	64

Tableau n°2

Pour un fonctionnement correct de l'installation, la température de l'eau en sortie de la bouteille de découplage vers les circuits secondaires ne doit pas descendre en dessous de 50°C.

Question 1.22

DT11

Dans les deux tableaux ci-dessus, **comparer** les puissances des récepteurs avant et après l'arrêt du moteur 1.

Indiquer la grandeur sur laquelle le technicien agit pour adapter la puissance de chaque récepteur.

Justifier que cette situation ne peut rester dans l'état indéfiniment en vous aidant du DT11.

Afin de prévoir l'évolution de la température de l'eau dans les départs sur les circuits secondaires, le modèle comportemental disponible sur le DT11 est exploité.

Pour chaque équipement générateur ou consommateur, le débit d'eau est asservi afin de maintenir la puissance constante pendant chaque phase de fonctionnement dégradé.

Question 1.23	À l'aide du modèle de comportement du DT11, relever un paramètre interne lié à la construction de la bouteille qui influence l'évolution de la température du départ secondaire.
Voir DT11	Toujours sur le DT11, relever sur le modèle les valeurs numériques des paramètres externes et justifier qu'elles correspondent à la situation donnée dans le tableau n°2.
	À partir de l'observation de l'évolution de la température en sortie des départs des circuits secondaires, donnée sur le DT11, relever la valeur du temps limite en minutes avant démarrage de la chaudière Biochaude pour une température de 50°C.

Lorsque la température dans la bouteille de découplage devient critique, la chaudière Biochaude est mise en service. Les valeurs numériques indiquées sur le modèle comportemental du DT12, correspondent à la situation initiale de la deuxième phase du fonctionnement dégradé, soit au début de la mise en service de la chaudière Biochaude.

Question 1.24	À partir de l'observation de l'évolution de la température en sortie des départs des circuits secondaires, donnée sur le DT12, relever la valeur du temps en secondes permettant de retrouver le fonctionnement optimal du réseau de chaleur à une température de 85°C. Exprimer ce temps en minutes.
Voir DT12	Proposer une décision que doit prendre le technicien en charge de l'exploitation, lorsque la température atteint 85°C.

Synthèse partie 1

Question 1.25	Commenter les moyens à disposition pour valoriser le biogaz et sur l'importance des choix du technicien en charge de la conduite de l'installation.
---------------	--

PARTIE 2 - Gestion climatique des serres

L'objectif est d'analyser la chaîne d'information qui permet la mesure et la transmission des valeurs de températures, le pilotage du chauffage de la zone de culture n°1 par les aérothermes ainsi que le stockage des messages d'alarme.

La culture des légumes nécessite un contrôle rigoureux de l'environnement de culture dans les serres afin de protéger les plantations du froid et de la prolifération de certaines maladies.

La gestion climatique des serres (deux zones) doit contrôler en permanence les conditions internes (température et humidité). L'exigence de température par temps froid de la zone de culture n°1 est de $15^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

La chaleur fournie par l'unité de méthanisation permet de chauffer les serres pendant les périodes froides. Un ensemble de 6 aérothermes permet de pulser de l'air chaud dans chacune des zones de culture.



Aérotherme
dans la zone de culture n°1

ACQUISITION ET TRANSMISSION DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE

Le traitement de l'information étant confié à une unité de traitement numérique type automate, les signaux représentatifs des grandeurs physiques captées et conditionnées (températures) doivent être numérisés. Un convertisseur analogique-numérique permet de convertir la valeur de la tension issue des capteurs en un nombre.

Question 2.1

Voir DT13

Répondre sur DR4

À partir du DT13, **compléter** pour chaque étiquette de commentaire du diagramme de blocs internes sur le DR4 le support (tension, courant ou nombre) ainsi que la nature des informations (analogique ou numérique).

On souhaite quantifier le temps de réponse à 5 % du capteur.

Question 2.2

Répondre sur DR5

À partir du DR5, **calculer** la valeur absolue de l'écart ΔS entre les températures finale et initiale. **Calculer** $\theta_{5\%}$ en ajoutant 5 % de l'écart ΔS à la température finale. **Reporter** cette valeur sur le graphique du DR5 et en **déduire** la valeur du temps de réponse. **Préciser**, à l'aide du chronogramme d'évolution de la température du DR5, si cette valeur est pénalisante pour la gestion de la température de la serre.

La valeur numérique « image de la température » est ensuite transmise au module principal de l'automate par une liaison CAN (voir DT15). Les données des trames suivantes sont émises par un module d'entrées-sorties (interface bus-CAN en direction de l'automate). Le champ « Data » contient les données transmises en hexadécimal :

☐	Message	DLC	Data	Cycle Time	Count	Trigger	Comment
Receive	0B6h	8	30 19 14 2B 66 00 00 00	☒ 200	558	Time	Données Zone 1
	0F6h	8	2D 19 32 2B 7A 00 00 00	☒ 200	558	Time	Données Zone 2

Question 2.3

Voir DT15

À partir du DT15, **extraire** de la trame ci-dessus la valeur numérique correspondant à la température ambiante de la zone 1 en hexadécimal. **Convertir** cette valeur en base décimale (valeur_décimale_transmise). En **déduire** la valeur de la température ambiante mesurée dans cette zone en $^{\circ}\text{C}$.

COMMANDE DE CHAUFFAGE PAR AÉROTHERMES

À partir de la température ambiante et de la température du circuit d'eau chaude, l'automate contrôle la mise en fonctionnement du circulateur du circuit d'eau et des ventilateurs des aérothermes. La régulation de la température du circuit d'eau n'est pas étudiée.

Question 2.4

Voir DT14

Répondre sur DR5

À partir du DT14, **compléter** sur le DR5 les chronogrammes des signaux de commande du circulateur d'eau chaude (CIRCU) et de la ventilation (VENTIL) des aérothermes.

Question 2.5

Expliquer la nécessité de déclencher la mise en fonctionnement de la ventilation après celle de la mise en circulation de l'eau.

STOCKAGE DES MESSAGE D'ALARME

En cas de dysfonctionnement de l'installation, le responsable de l'association doit être prévenu rapidement pour éviter la dégradation des cultures.

L'installation est pourvue d'un transmetteur d'alarmes GSM capable d'envoyer 4 messages à synthèse vocale de 10 secondes chacun.

Chaque message vocal de 10 secondes est enregistré au format numérique suivant :

- son mono (1 seul canal) ;
- échantillonnage à 8000 Hz ;
- chaque échantillon est codé sur un octet (8 bits).

La capacité mémoire totale est de 512 ko pour l'ensemble des 4 messages vocaux.

Question 2.6

Calculer le nombre d'octets à stocker lors de l'enregistrement de ces messages vocaux.

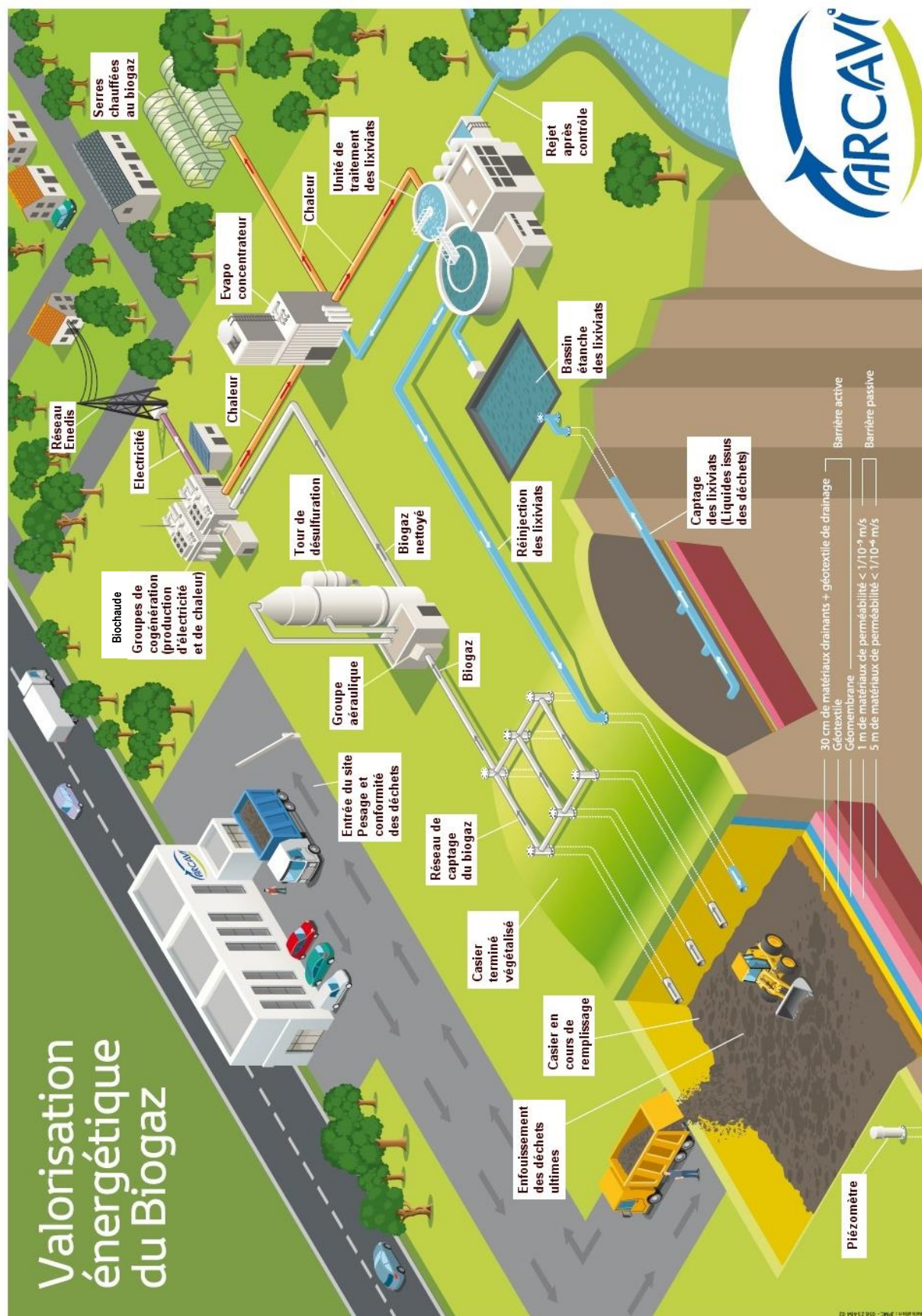
Conclure en vérifiant que la capacité mémoire est suffisante pour enregistrer ces 4 messages.

Synthèse partie 2

Question 2.7

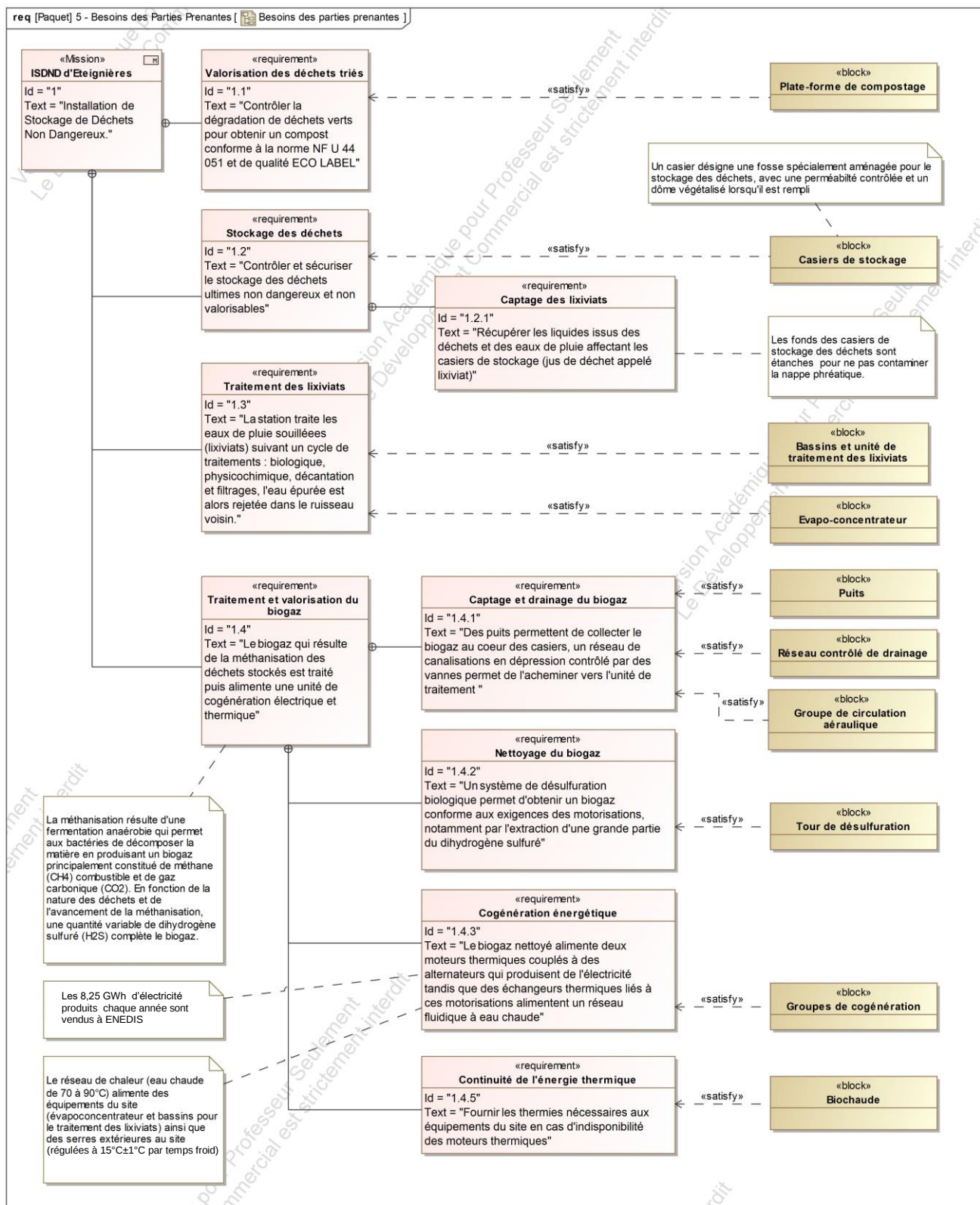
Au regard de l'exigence de température des serres par temps froid, **critiquer** le choix du réglage des seuils de températures.

DT1 – Valorisation énergétique du biogaz



Lixiviat : Lors de leur stockage, sous l'action de la fermentation naturelle, les déchets produisent une fraction liquide appelée « lixiviats ». Riches en matière organique et en éléments traces, ces lixiviats ne peuvent être rejetés directement dans le milieu naturel et doivent être soigneusement collectés et traités.

DT2 – Cahier des charges du site



DT3 – Les compresseurs

Les compresseurs les plus fréquents

Les compresseurs à fluide gazeux permettent d'élever la pression d'aspiration à une pression de refoulement plus élevée. Deux types sont principalement utilisés : les compresseurs centrifuges et les compresseurs volumiques.

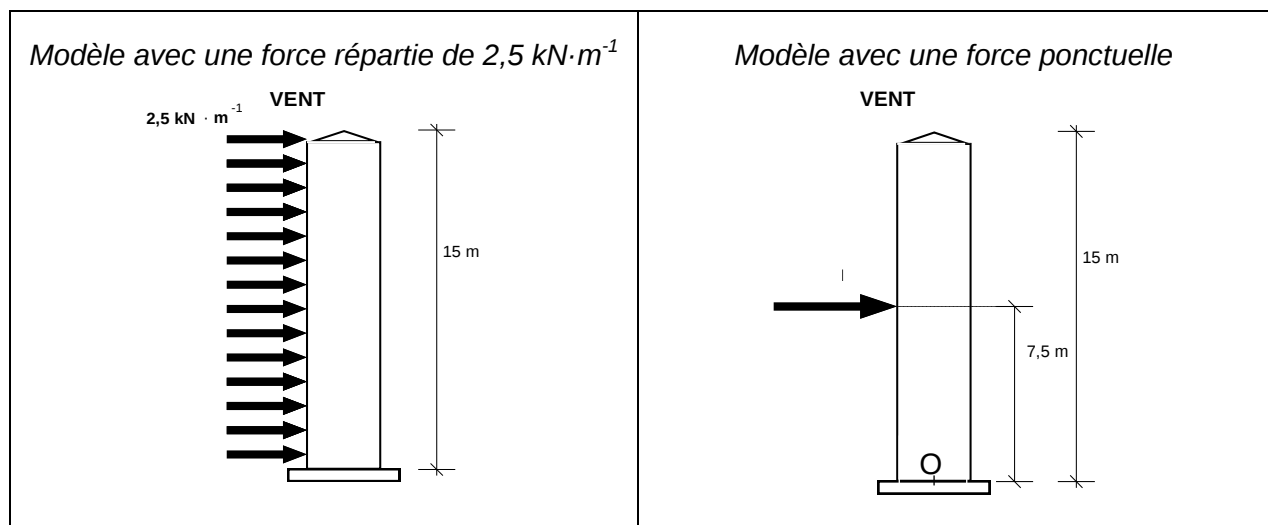
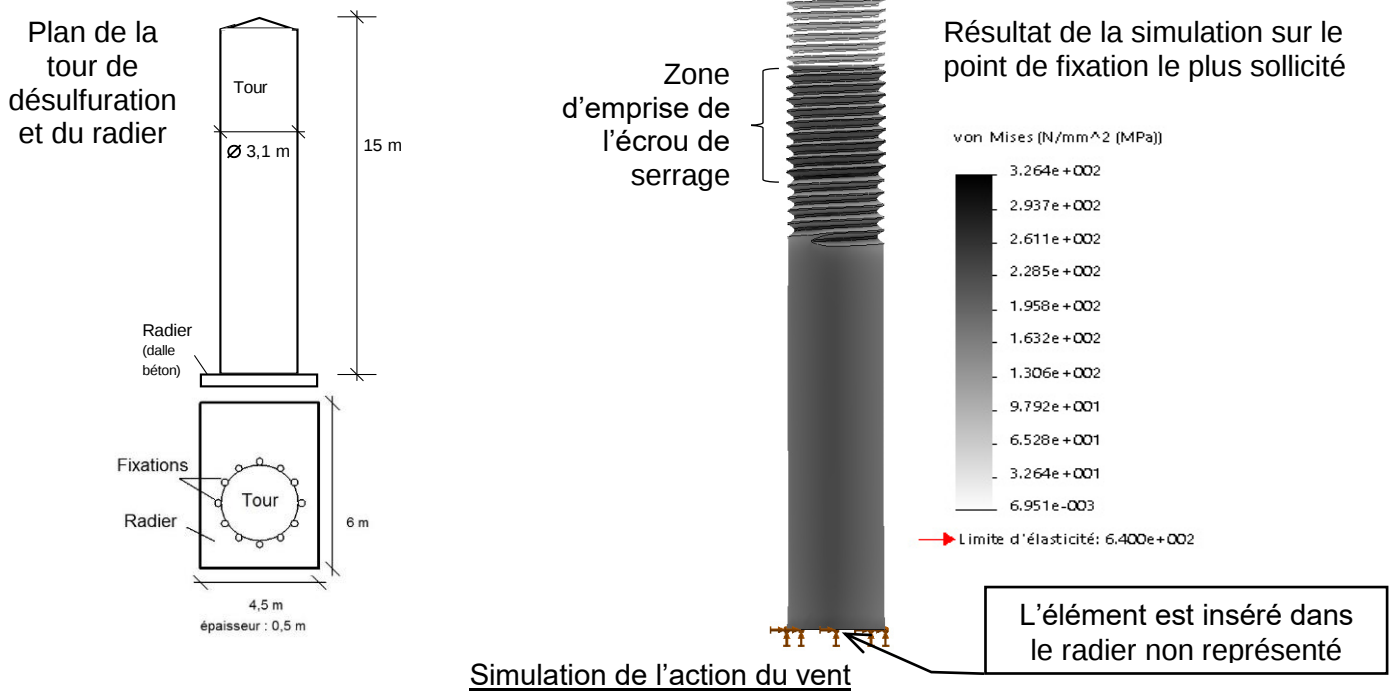
D'une manière générale, les compresseurs centrifuges, également appelés turbocompresseurs, fonctionnent avec une hauteur manométrique (ou pression différentielle) constante. Ils sont bien adaptés pour comprimer de gros débits de fluide (au-dessus de quelques $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$), mais seulement sous des rapports de pression relativement faibles (quelques mbar et rarement au-delà d'un bar). Les compresseurs volumiques permettent d'obtenir des pressions bien plus élevées, mais avec des débits moindres.

DT4 – Étude fluidique à l'aide d'un logiciel (mécaflux)

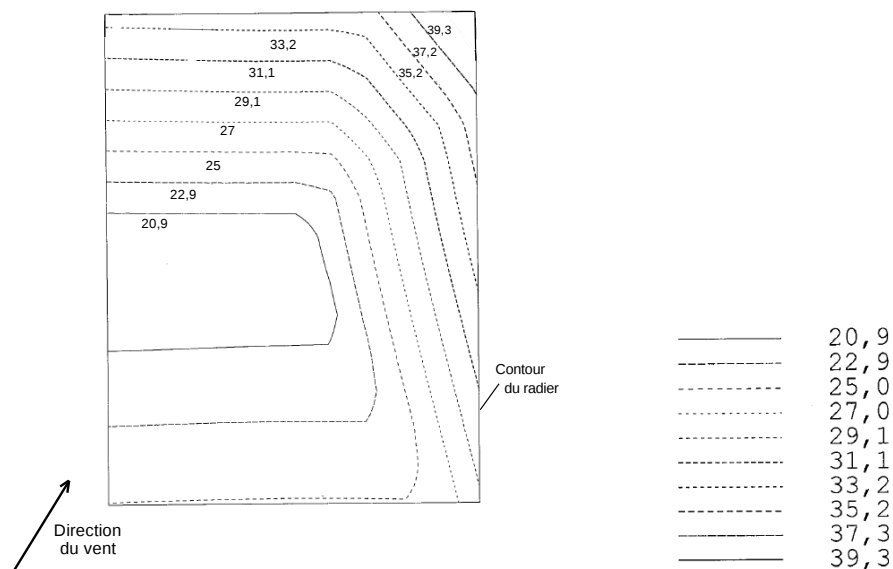
The screenshot displays the Mécaflux software interface, which is used for fluidic studies. It is divided into several panels:

- Paramètres du fluide**: Contains input fields for fluid type (biogaz), state (Gaz/Liquide), mass density (1.19 Kg/m3), temperature (25 °C), vapor pressure, and flow rate (800 m3/h). It also includes a 'Normaux M3/H' button.
- Pression atm. ambiante**: Contains input fields for ambient temperature (25 °C) and altitude (360 mètres), resulting in an atmospheric pressure of 97866.24 pascals.
- Paramètres pompe et reseau**: Contains input fields for aspiration height (0 m), efficiency (0.30), NPSH required (0 m), refoulement height (0 m), total height (0 m), and a cavitation alert (pas de cavitation). It also has an 'Option turbine' checkbox.
- Schéma de pompage**: A central diagram showing a pump connected to a reservoir. It includes input fields for losses before the pump (0 pascals), reservoir refoulement pressure (105866.24 pascals), reservoir aspiration pressure (90866.24 pascals), and refoulement losses (0 pascals).
- RESULTATS**: Displays calculated results: absorbed power (11.111 Kw), hydrodynamic charge (0 Pas), total practical height (1284.918 m), useful power (3.3333 Kw), and available NPSH (90865.24 Pas).

DT5 – Tour de désulfuration



Simulation de la répartition des pressions exercées sur le sol en $\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$



DT6 – Principe de la cogénération

La cogénération, c'est la production combinée d'électricité et de chaleur : c'est le mode de valorisation du biogaz le plus courant.

Dans ce système, on utilise un moteur thermique qui transforme l'énergie contenue dans le combustible (biogaz issu de la méthanisation de déchets organiques) en énergie mécanique.

Cette énergie mécanique est utilisée pour produire de l'énergie électrique par entraînement d'un alternateur. Une partie de l'énergie thermique des gaz d'échappement est récupérée dans le circuit de refroidissement du moteur grâce à des échangeurs thermiques : c'est l'énergie thermique utile. Cette énergie est distribuée par un réseau de chaleur.

DT7 – Groupes de cogénération en pleine charge (100 %)

	Groupe de cogénération n°1	Groupe de cogénération n°2
Caractéristiques moteur		
Nombre de cylindres	12	12
Cylindrée	53,1 dm ³ = 53 litres	26,3 dm ³ = 26,3 litres
Régime	1500 tr·mn ⁻¹	1500 tr·mn ⁻¹
Puissance délivrée par le combustible (biogaz)	Valeur à calculer	1300 kW
Débit volumique du combustible (biogaz)	377,5 m ³ ·h ⁻¹	200 m ³ ·h ⁻¹
Caractéristiques alternateur		
Rendement	97,3 %	96,7 %
Puissance électrique utile	Valeur à déterminer	537 kW
Caractéristiques thermiques		
Puissance thermique utile récupérée dans le circuit de refroidissement	656 kW	205 kW
Puissance thermique utile récupérée dans les gaz d'échappement	539 kW	251 kW
Puissance thermique utile	Valeur à déterminer	456 kW

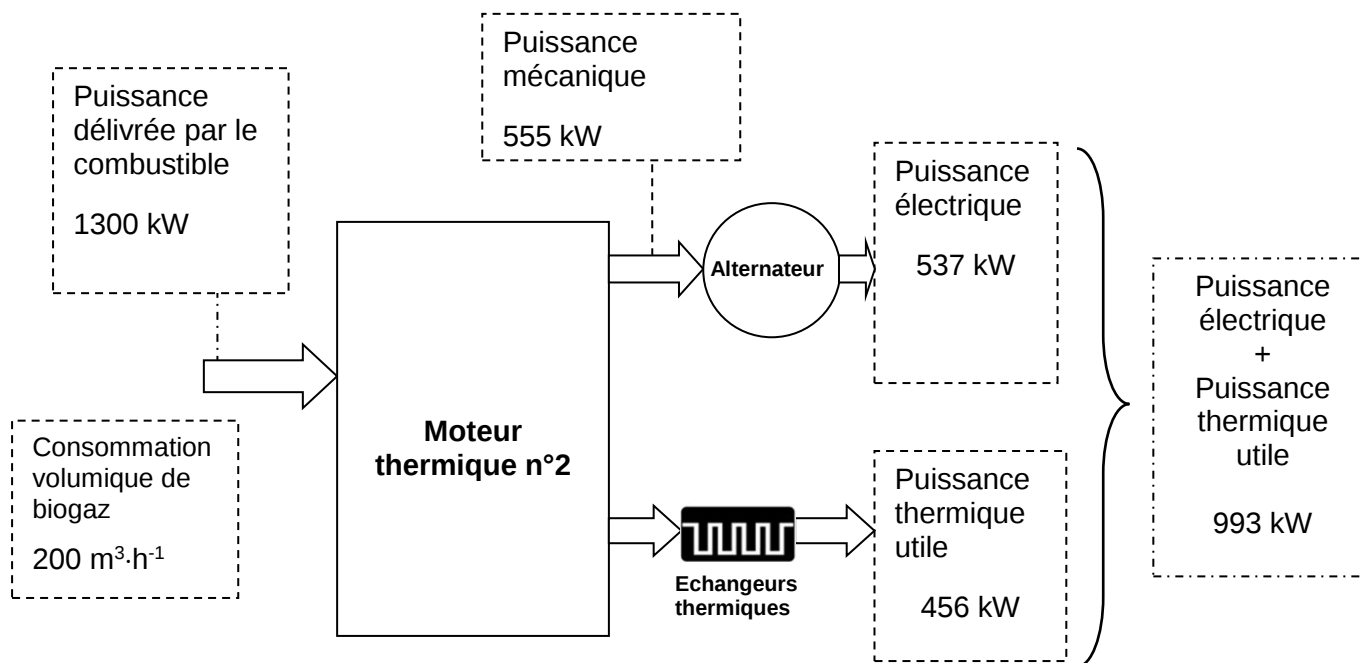
DT8 – Quantités de CO₂ émises et PCV lors de la combustion

Combustible	kg de CO ₂ émis par kWh fourni par le combustible	Pouvoir calorifique volumique (PCV)
Essence	0,264	9,54 kWh·l ⁻¹
Gazole et Fioul domestique	0,271	10 kWh·l ⁻¹
Gaz naturel (100 % méthane CH ₄)	0,206	10 kWh·m ⁻³
Kérosène	0,267	9,7 kWh·l ⁻¹
Charbon	0,343	4,7 kWh·l ⁻¹
GPL	0,231	7,8 kWh·l ⁻¹
Biogaz (65 % de CH ₄)	0,270	6,5 kWh·m ⁻³

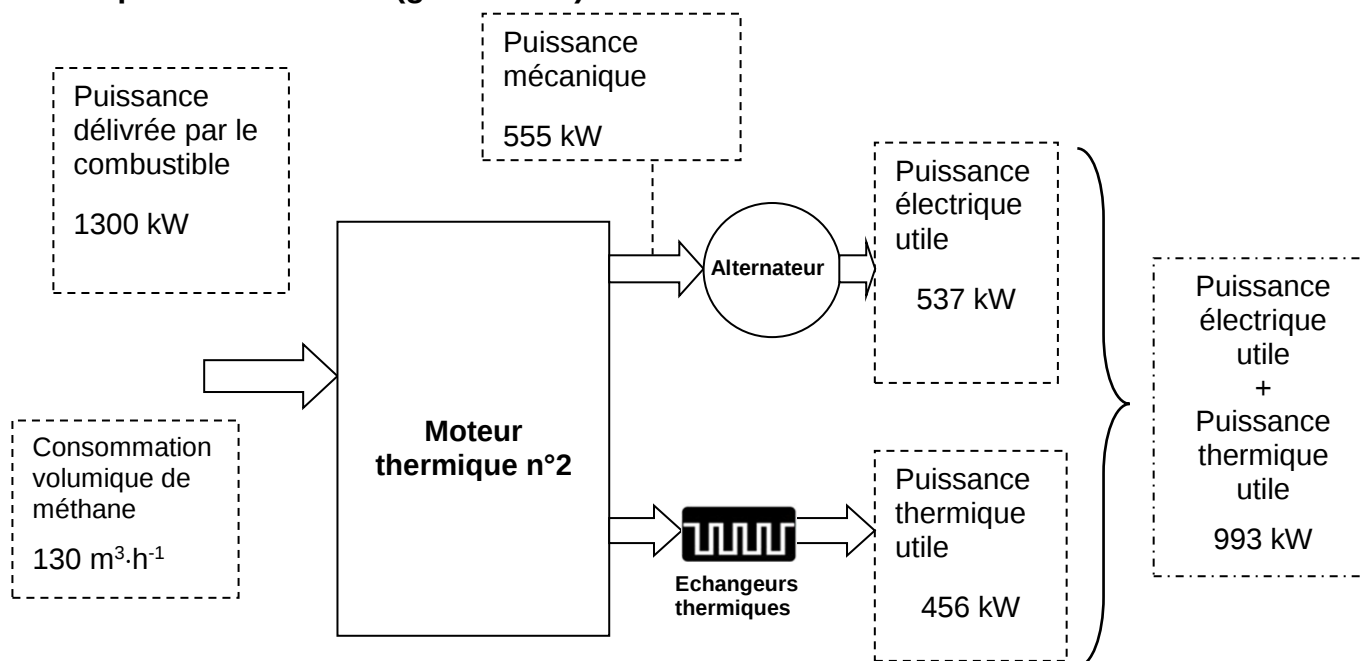
Exemple : pour l'essence, la production de 1kWh, rejette 0,264 kg de CO₂ dans l'atmosphère.

DT9 – Comparatif d'émission de CO2

Production d'énergie électrique et thermique du groupe de cogénération n°2 à partir de biogaz



Production d'énergie électrique et thermique du groupe de cogénération n°2 à partir de méthane (gaz naturel)

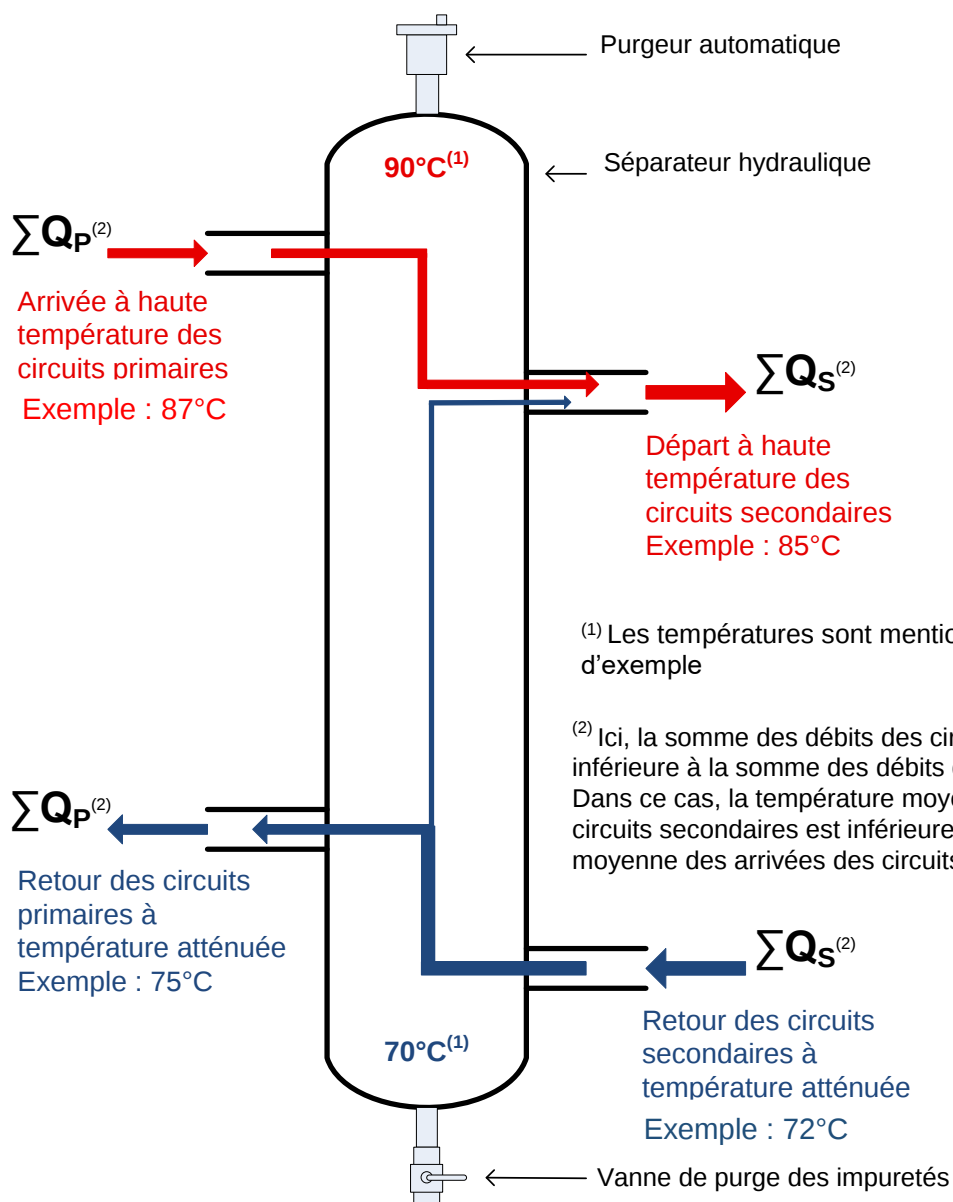


DT10 – Bouteille de découplage hydraulique

Une bouteille de découplage hydraulique a pour principale fonction de rendre indépendants les circuits hydrauliques primaires et secondaires. L'apport en énergie est assuré par les circuits primaires depuis les générateurs thermiques, les circuits secondaires alimentent les récepteurs consommateurs d'énergie.

Les piquages les plus chauds sont situés en haut de la bouteille, les plus froids en bas. La température de l'eau est plus élevée en haut de la bouteille principalement pour deux raisons :

- l'arrivée de l'eau chaude du primaire se fait en haut de la bouteille ;
- la masse volumique de l'eau chaude est plus faible que celle de l'eau froide.

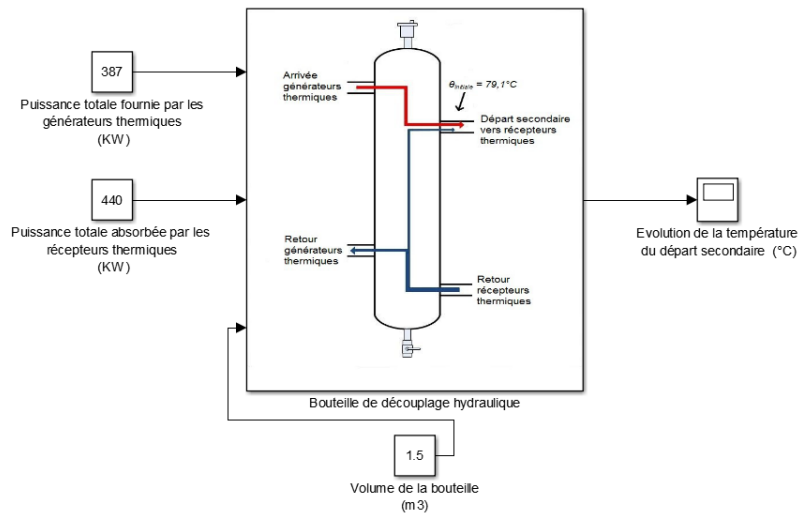


DT11 – Modèle comportemental de la bouteille de découplage

Première phase du fonctionnement dégradé : seul le moteur 2 est en fonctionnement.

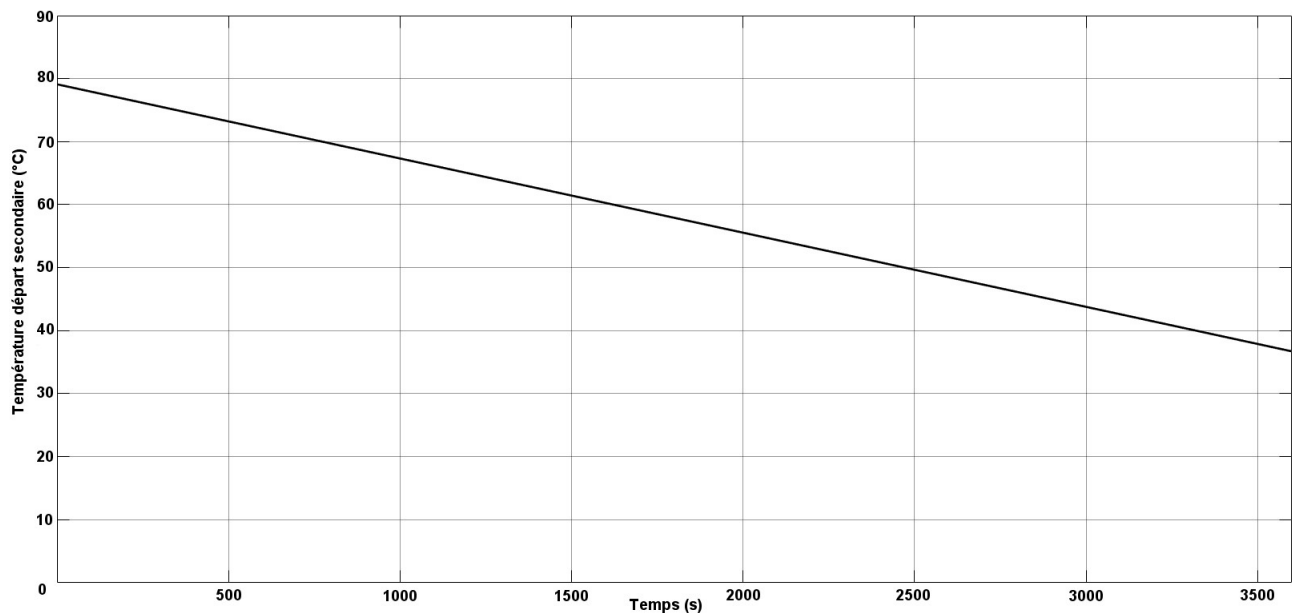
Lors de l'apparition du dysfonctionnement, la bouteille possède une certaine quantité d'énergie accumulée, ce qui lui permet de livrer une eau qui, au départ, présente une température de 79,1°C.

Le déséquilibre entre la puissance fournie par le circuit primaire et celle absorbée par les récepteurs du circuit secondaire entraîne un appauvrissement énergétique de la bouteille, donc une baisse de cette température.



Le modèle multiphysique ci-dessus permet d'observer l'évolution de la température en sortie de la bouteille (départ secondaire) en fonction du temps. Les résultats sont visibles sur le graphique ci-dessous.

Évolution de la température en fonction du temps :

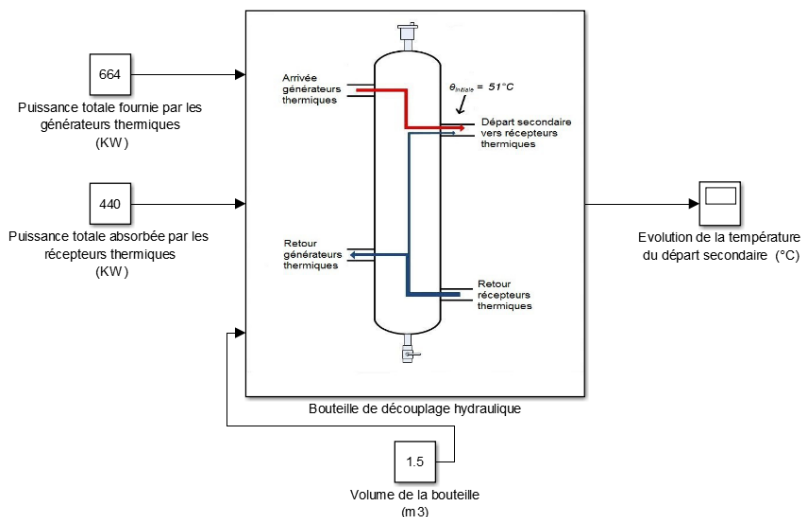


DT12 – Modèle comportemental de la bouteille de découplage

Deuxième phase du fonctionnement dégradé : moteur 2 et chaudière Biochaude en fonctionnement.

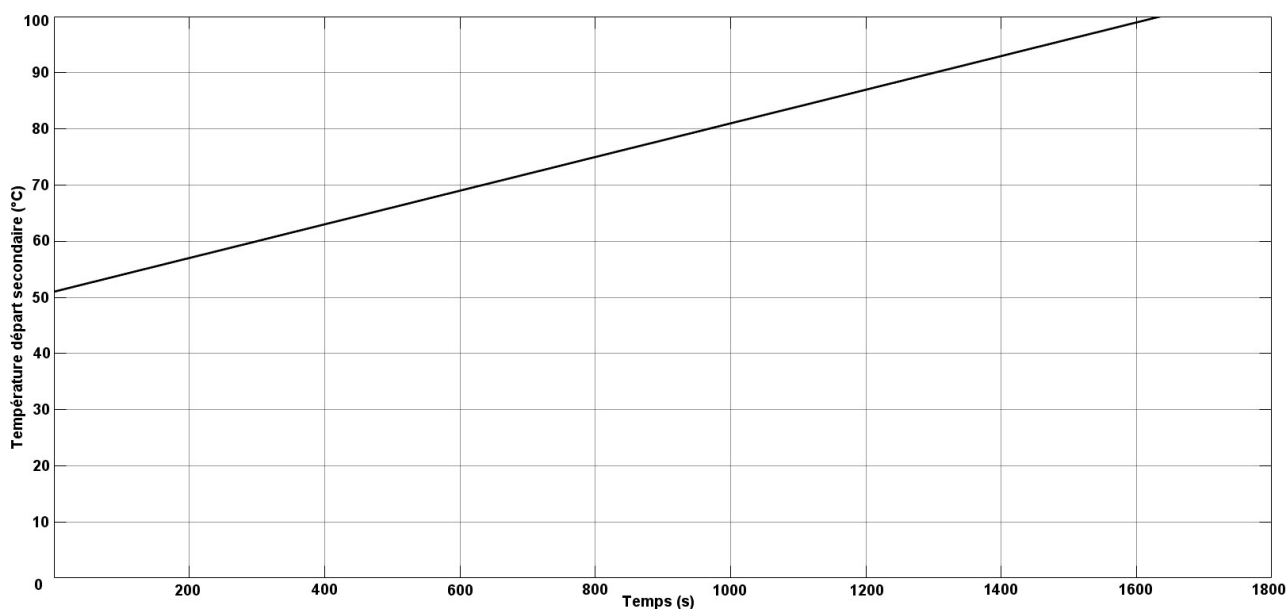
Lors de la mise en service de la chaudière Biochaude, la température de départ du circuit secondaire est de 51°C.

L'apport de puissance de la chaudière Biochaude va permettre un enrichissement énergétique dans la bouteille, donc une hausse progressive de la température de départ du circuit secondaire.



Le modèle multiphysique ci-dessus permet d'observer l'évolution de la température en sortie de la bouteille (départ secondaire) en fonction du temps. Les résultats sont visibles sur le graphique ci-dessous.

Évolution de la température en fonction du temps :

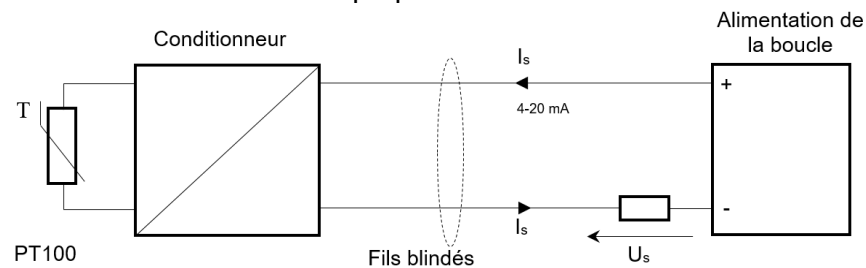


DT13 – Capteur de température



Le capteur de température est constitué d'une sonde PT100 et d'un conditionneur 4-20 mA. Un câble blindé permet de transporter le signal en s'affranchissant des perturbations électromagnétiques.

Une sonde PT100 est un capteur de température au platine qui présente une variation de sa résistance en fonction de la température. À une température de 0°C la résistance de la sonde est de 100 Ω . Le conditionneur fournit un courant compris entre 4 et 20 mA pour une plage de température comprise entre -40°C et +85°C avec une précision inférieure ou égale à 0,1 % de l'étendue de la mesure. Une résistance placée en série fournit une tension proportionnelle au courant de la boucle.



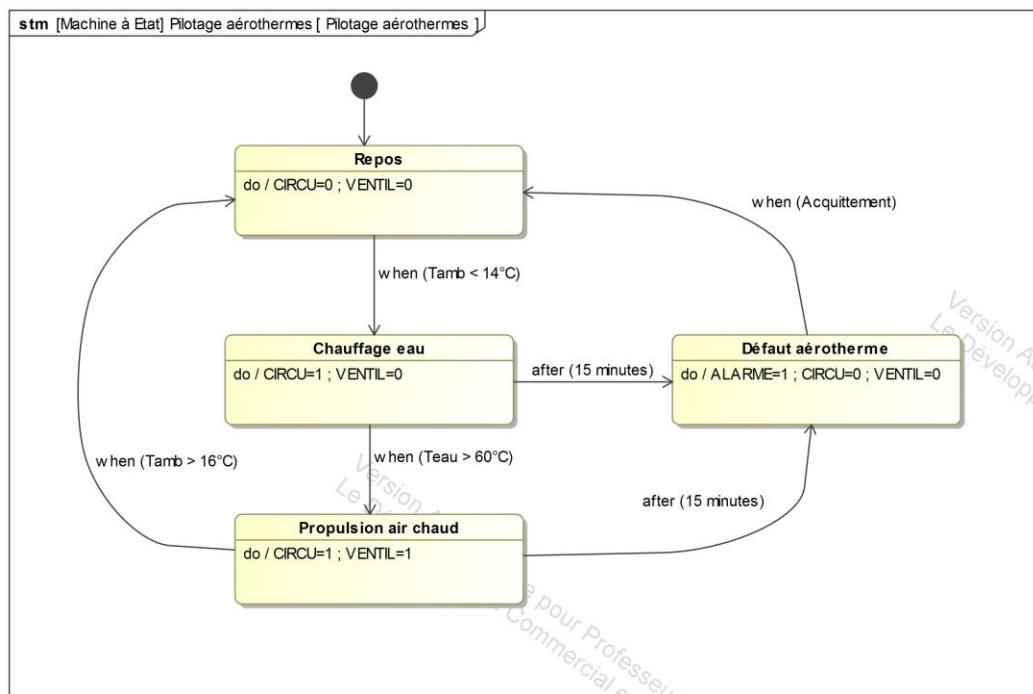
DT14 – Pilotage des aérothermes

Principe de commande :

Un circulateur (pompe) permet d'amener l'eau chaude jusqu'aux aérothermes. La température de l'eau est mesurée par une sonde placée sur circuit de retour. Lorsqu'une demande de chauffage est effective (température ambiante en dessous de la consigne d'ambiance), le circulateur est mis en marche. La ventilation ne sera mise en fonctionnement que lorsque la température d'eau de retour du circuit sera au-dessus de la consigne de température d'eau.

On se place dans le cas où la consigne de température ambiante vaut 14°C avec un différentiel de +2°C. La consigne de température de l'eau est fixée à 60°C.

Diagramme d'états



DT15 – Transmission des informations par bus CAN

Le bus CAN (*Control Area Network*) est un moyen de communication série temps réel avec un haut niveau de fiabilité. C'est un réseau de terrain très utilisé dans l'industrie.

Le dialogue entre le module principal de l'automate et le module d'entrées-sorties est effectué par un bus CAN. La transmission des données est effectuée sur une paire filaire différentielle permettant de s'affranchir des problèmes de parasites. La ligne est donc constituée de deux fils, CAN L (CAN LOW) et CAN H (CAN HIGH).

Toutes les 200 ms, le module d'entrées-sorties transmet un mot de 8 octets contenant la valeur numérique issue des capteurs au module principal selon le format donné dans le tableau ci-dessous.

Pour les données sur deux octets (températures), l'octet de poids fort est transmis en premier. La valeur de la température mesurée s'obtient grâce à l'expression suivante :

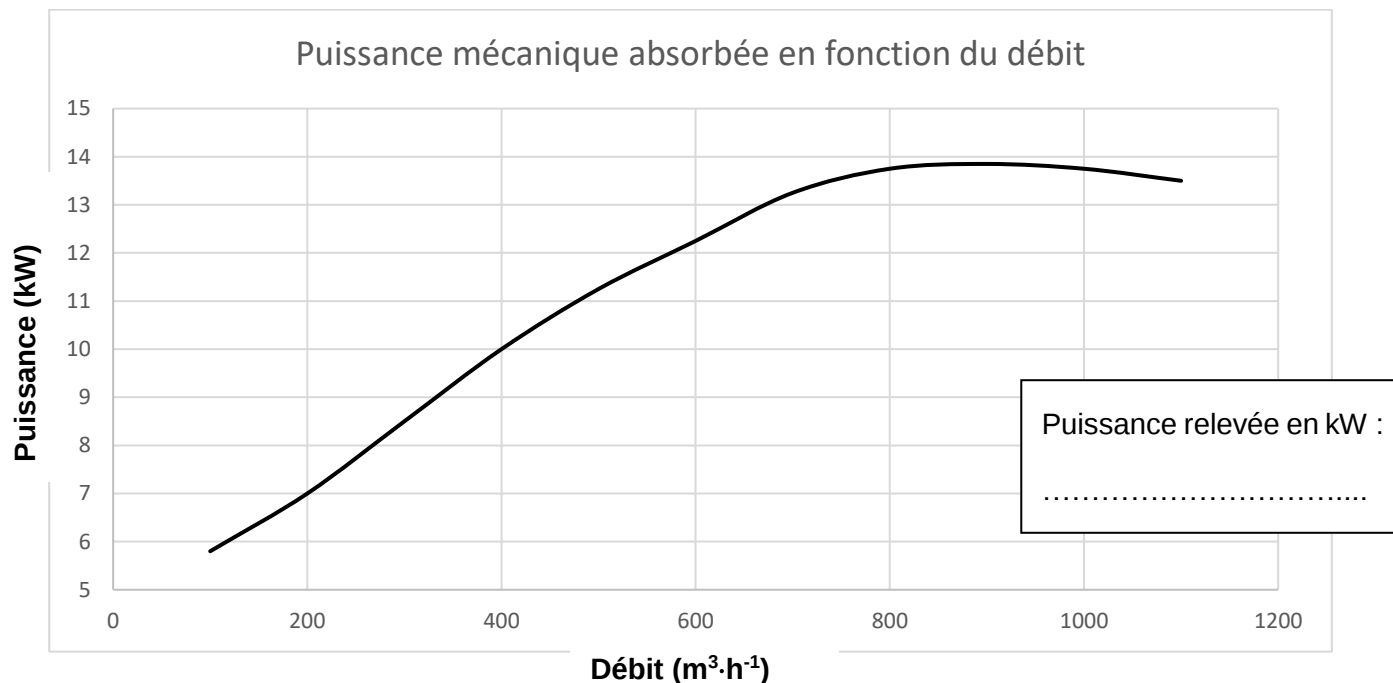
$$T_{\text{température_mesurée}} (^{\circ}\text{C}) = (0,01 \times \text{Valeur_décimale_transmise}) - 50$$

Format des messages transmis sur le bus CAN

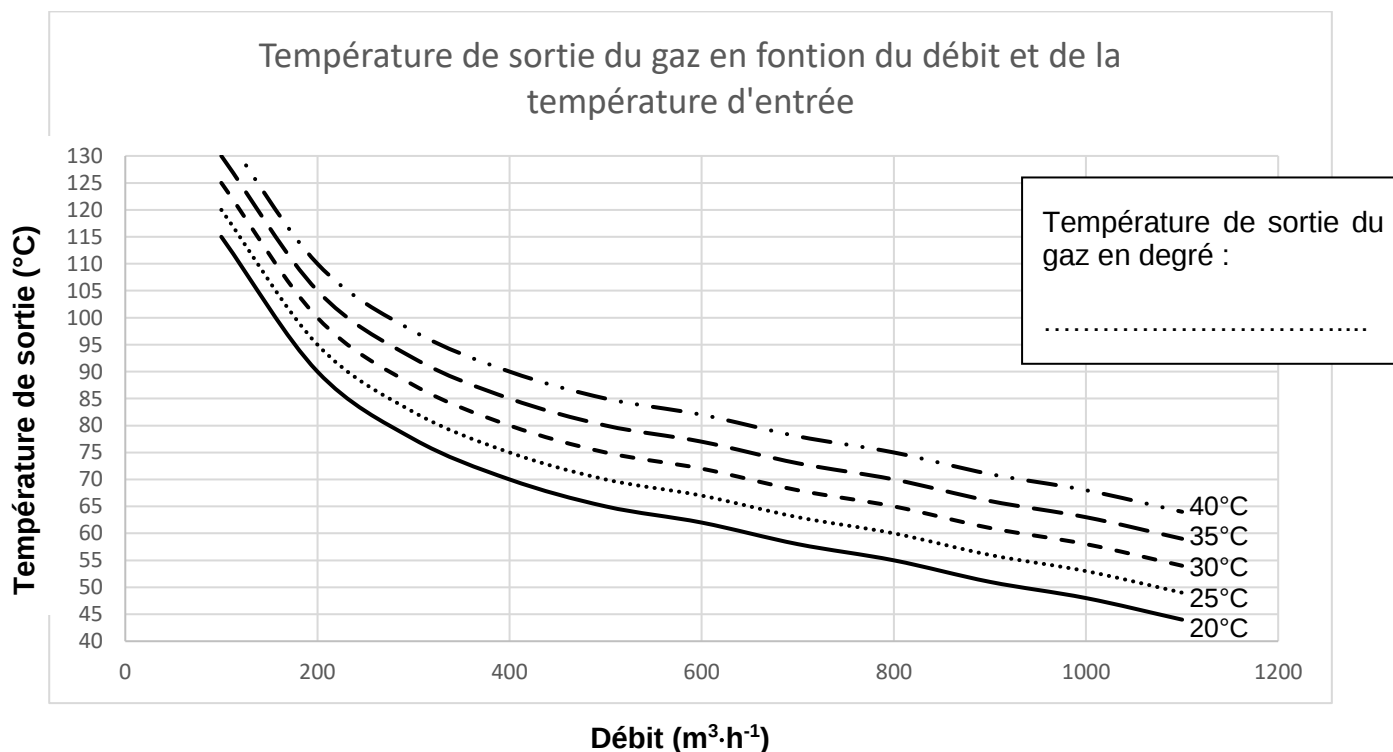
Identificateur du message	N° d'octet du champ Data	Paramètre	Description
0B6h	1	HYGRO_1	Taux d'humidité dans la zone 1 (en %)
	2-3	T_AMB_1	Température ambiante dans la zone 1
	4-5	T_EAU_1	Température circuit d'eau aérothermes en zone 1
	6 à 8	Non utilisés	
0F6h	1	HYGRO_2	Taux d'humidité dans la zone 2 (en %)
	2-3	T_AMB_2	Température ambiante dans la zone 2
	4-5	T_EAU_2	Température circuit d'eau aérothermes en zone 2
	6 à 8	Non utilisés	

DR1 – Document réponse 1

Questions 1.6 et 1.7



Comparaison des deux valeurs :



Différence de température en degré :

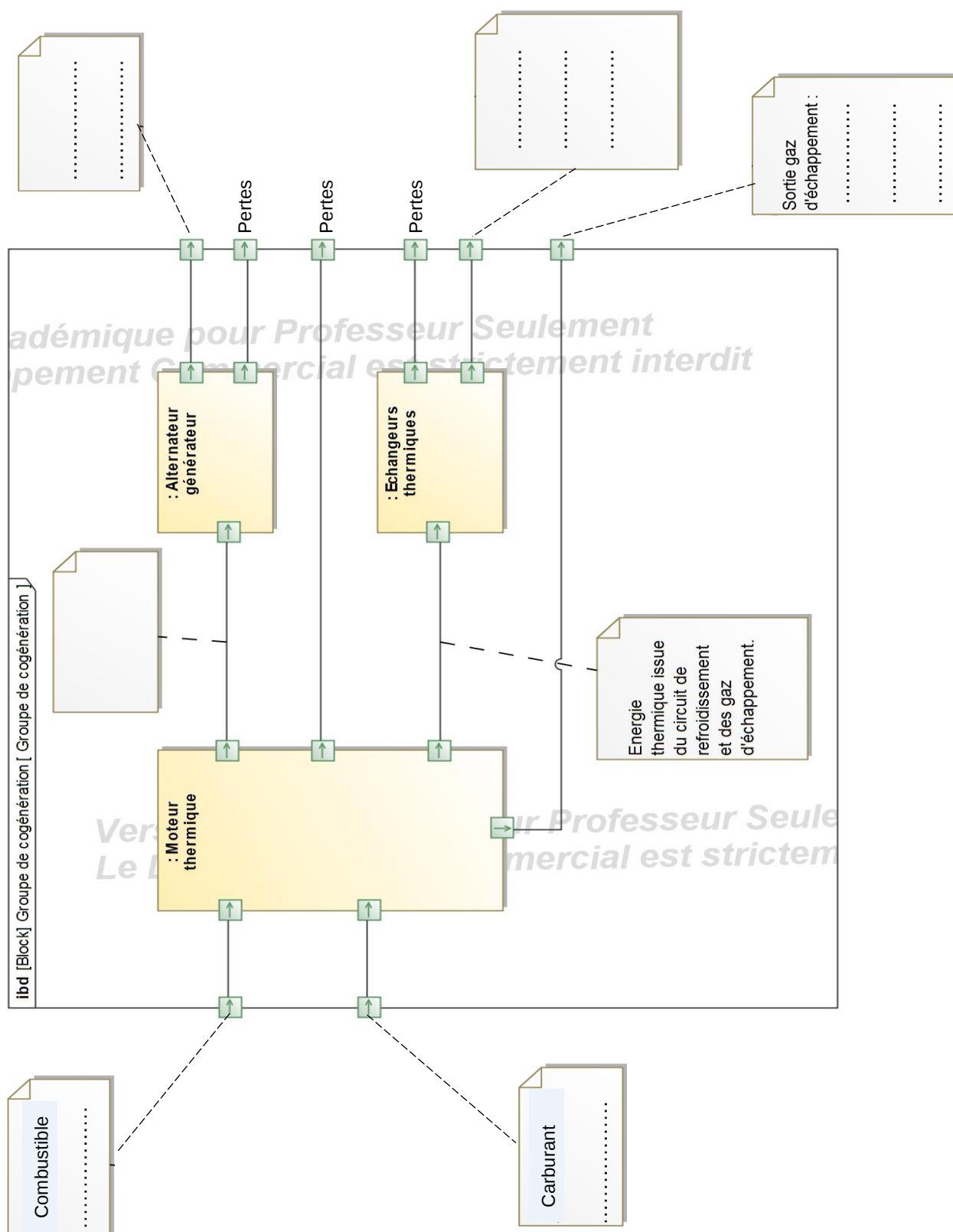
Paramètres du logiciel :

Écart de puissance au regard des hypothèses :

.....

.....

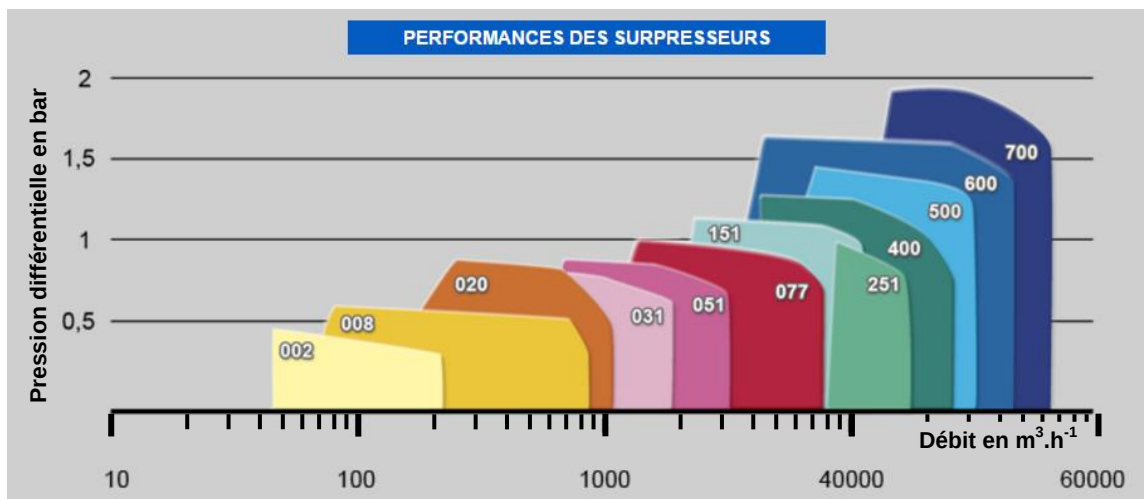
Question 1.16



DR3 – Document réponse 3

Question 1.4

Choix d'une (ou de) référence(s) pour le groupe de surpression



Référence(s) du (ou des) groupe(s) de surpression :

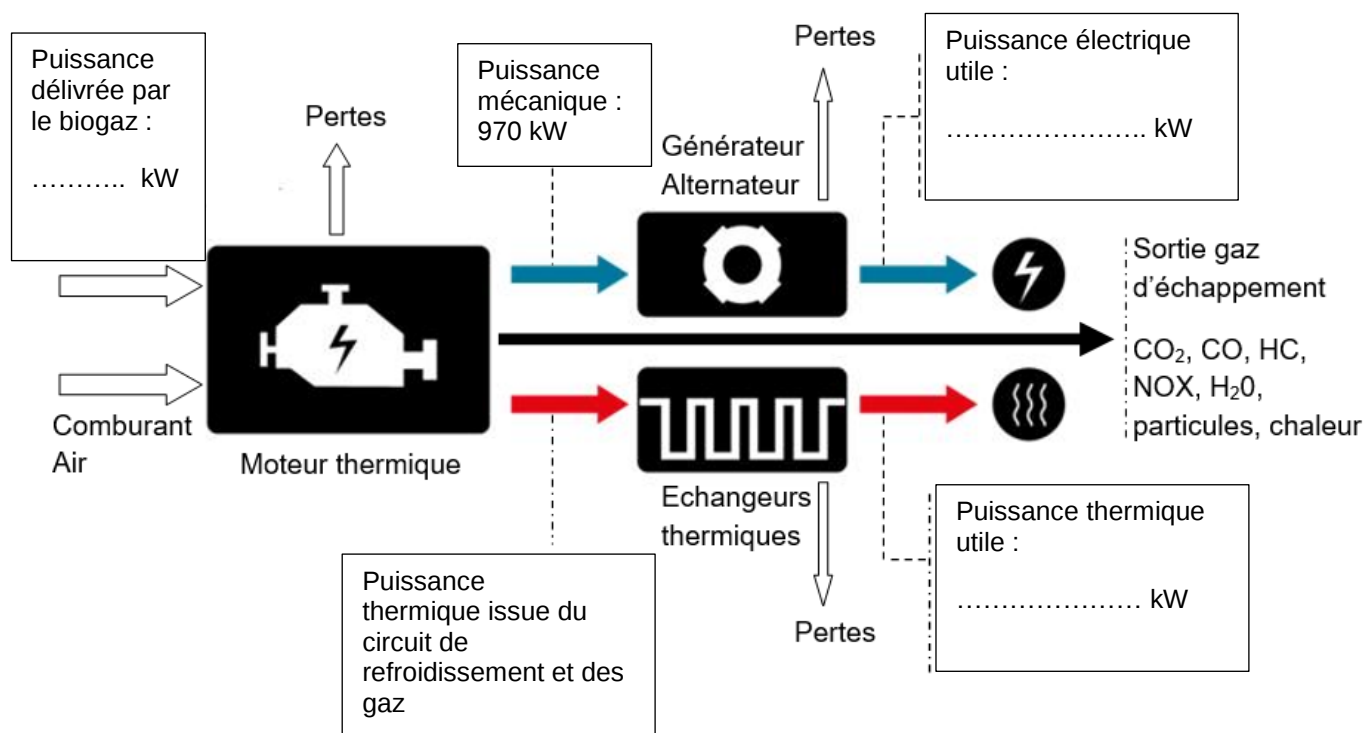
Question 1.17

Pouvoir calorifique du biogaz :

Volume de biogaz consommé en 1 heure par le module de cogénération n°1 :

Puissance délivrée par le combustible en kW :

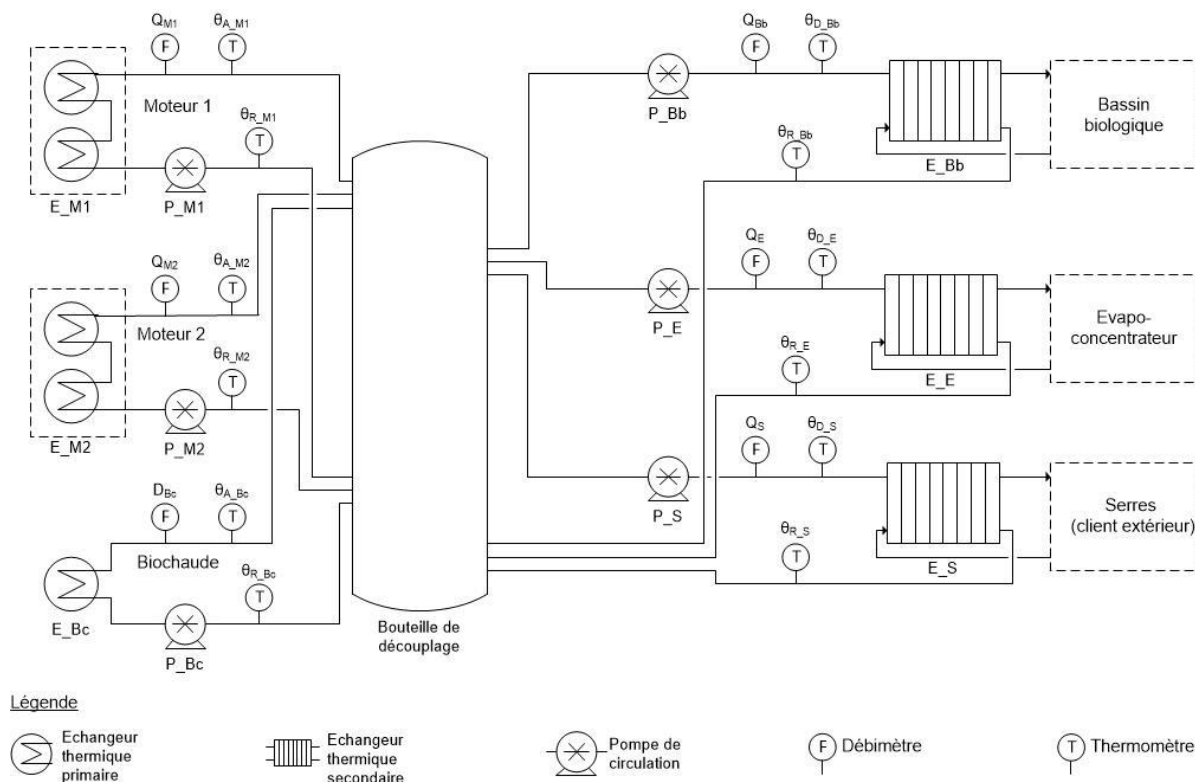
Question 1.18 Chaîne de puissance de la cogénération N°1



Rendement global du module de cogénération n°1 :

.....

Question 1.21 : schéma hydraulique simplifié du réseau d'eau chaude



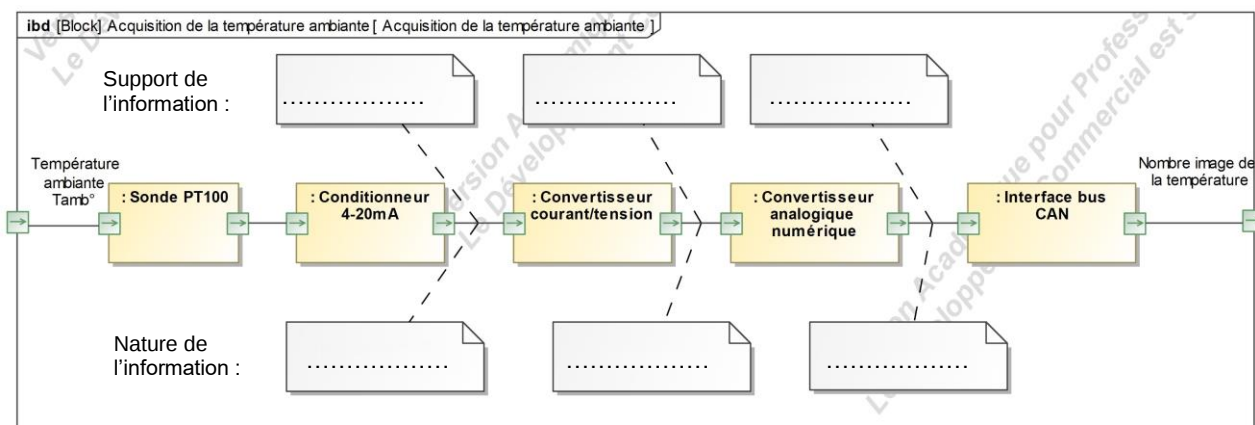
Observation

Le schéma hydraulique du réseau d'eau chaude est volontairement simplifié pour améliorer sa lisibilité. Les vannes d'arrêt et les clapets anti-retour ne sont donc pas mentionnés.

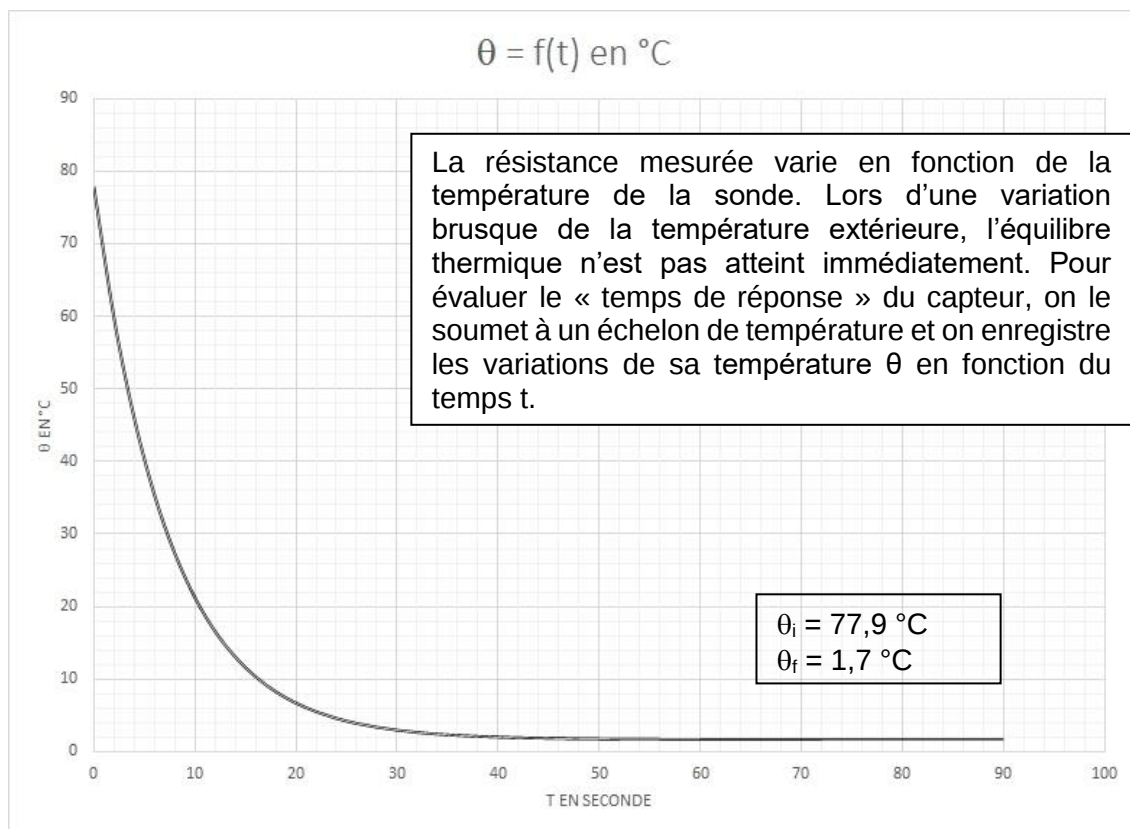
Principe d'identification des repères utilisés

Repère	Désignation
Q_{M1}	Débit d'eau groupe de cogénération n°1
θ_{A_M1}	Température d'eau d'alimentation de la bouteille à partir du groupe de cogénération n°1
θ_{R_M1}	Température d'eau de retour de la bouteille à partir du groupe de cogénération n°1
Q_{Bb}	Débit d'eau d'alimentation de l'échangeur du bassin biologique
θ_{D_Bb}	Température d'eau de départ vers l'échangeur du bassin biologique
θ_{R_Bb}	Température d'eau de retour de l'échangeur du bassin biologique

Question 2.1



Question 2.2



Question 2.4

