

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2022

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable Architecture et Construction

Durée de l'épreuve : **4 heures**

Aucun document autorisé.

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 37 pages numérotées de 1/37 à 37/37.

Constitution du sujet :

Partie commune (durée indicative 2h30)	12 points
Partie spécifique (durée indicative 1h30)	8 points

Le candidat traite la partie commune et la partie spécifique en suivant les consignes contenues dans le sujet.

Ces 2 parties sont indépendantes et peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

Tous les documents réponses sont à rendre avec la copie.

**Dans la partie commune, le candidat doit choisir entre traiter la partie 2 (choix 1)
ou la partie 4 (choix 2).
Les parties 1, 3 et 5 sont à traiter obligatoirement.**

PARTIE COMMUNE (12 points)

MÉTHANISEUR AGRICOLE



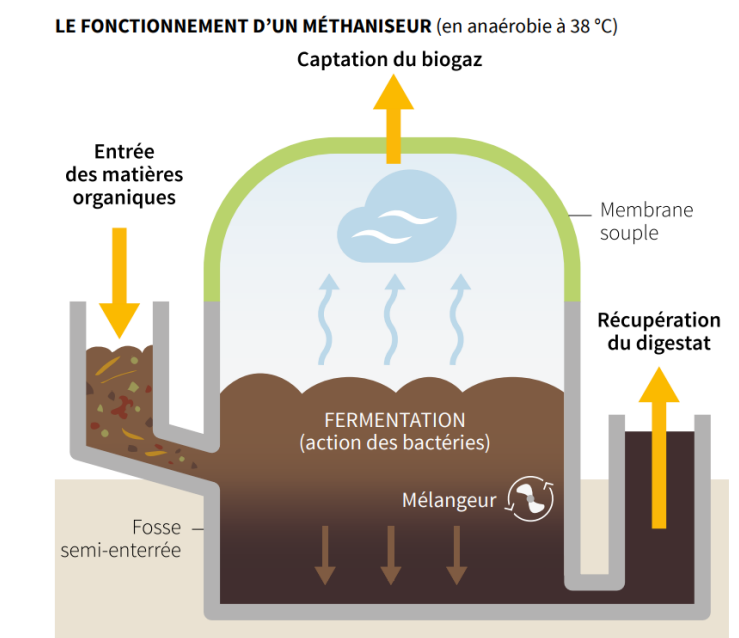
- **Présentation de l'étude et questionnaire**..... pages 3 à 8
- **Documents techniques**..... pages 9 à 17
- **Documents réponses (à rendre avec la copie)**..... pages 18 à 20

Mise en situation

Dans le cadre de la transition énergétique, l'évolution vers la production de gaz d'origine non fossile est indispensable. Les méthaniseurs agricoles sont une solution pour y parvenir ; d'ailleurs le nombre d'installations et de projets en cours est en plein essor...

Le méthaniseur transforme de la matière organique (biomasse) en biogaz (contenant du méthane) et en digestat (matière digérée restante), grâce à des micro-organismes.

C'est un processus biologique naturel. La réaction a lieu en l'absence d'oxygène (décomposition anaérobie) et sous l'effet de la chaleur avec une température comprise entre 38 et 42°C dans une ou deux cuves fermées et mélangées appelées « digesteurs » (sorte de tube digestif).



Les matières organiques appelées aussi « intrants » (par exemple les déjections animales telles que le lisier, les résidus de cultures céréalières...) vont être décomposées par les micro-organismes pendant une durée de 30 à 70 jours généralement.

Cette dégradation génère du biogaz ; ce dernier constitue une énergie renouvelable. Il est essentiellement composé de méthane (CH_4) et de dioxyde de carbone (CO_2).

Le biogaz peut être valorisé directement dans une chaudière, par exemple, ou encore être épuré pour ne conserver que le méthane : on parle alors de « biométhane ».

Ce gaz est équivalent au gaz de ville, il peut être injecté directement sur le réseau de gaz existant pour chauffer des logements ou bien encore recharger des véhicules fonctionnant au « GNV » (Gaz Naturel pour Véhicules).

Les résidus obtenus, à savoir les digestats, ont des propriétés fertilisantes. Ils peuvent donc être valorisés après séparation de la matière solide (digestat solide) et de la partie liquide (digestat liquide) sous diverses formes : compost, épandage, etc.

Pour information, le processus de méthanisation est un phénomène qui se déroule aussi naturellement dans l'appareil digestif des bovins ou dans les marais.

Partie 1 – Les méthaniseurs sont-ils une alternative pour permettre un développement durable ?

Tout le monde ou presque a déjà entendu parler de panneaux photovoltaïques ou d'énergie solaire. Ce n'est pas forcément le cas pour le biogaz produit par les méthaniseurs.

Question 1.1

DT1

Comparer la part d'énergie renouvelable issue du solaire photovoltaïque à celle provenant du biogaz pour l'année 2018.

Conclure si le biogaz est une alternative à prendre au sérieux ou non dans les années à venir.

Le biogaz peut être valorisé directement, par exemple en cogénération, ou épuré afin de l'utiliser sous forme de biométhane.

Question 1.2

DT2

Lister les 4 « variantes » de valorisation finale du biogaz.

Bien que la part d'énergie renouvelable issue du biogaz soit faible (quelques pourcents), les quantités énergétiques produites sont toutefois considérables. En effet, avec une production d'environ 4 TWh effective sur l'année 2020, l'énergie produite par le biogaz a tout de même permis de fournir l'intégralité des besoins énergétiques de 350 000 foyers.

Les objectifs de transition énergétique imposaient à horizon 2030 de produire 10 % de gaz d'origine renouvelable (biométhane). Cependant, avec la conjoncture de la Covid survenue en 2020, ces objectifs ont été revus à la baisse par les pouvoirs publics.

Question 1.3

DT3

Relever quels sont les nouveaux attendus minimum en % et en TWh/an à l'horizon 2030.

On dénombrait, en mars 2020, 139 installations en service et plus de 1134 projets en cours (demandes en cours d'étude).

Question 1.4

DT4

Relever la capacité de production totale possible en TWh/an de tous ces projets déclarés.

Conclure sur la capacité à atteindre le nouvel objectif fixé si 100 % des projets sont réalisés d'ici 2030.

Chaque kWh de gaz vert produit, injecté et consommé permet une économie de 188 g de CO₂ / kWh par rapport à une production de gaz conventionnelle.

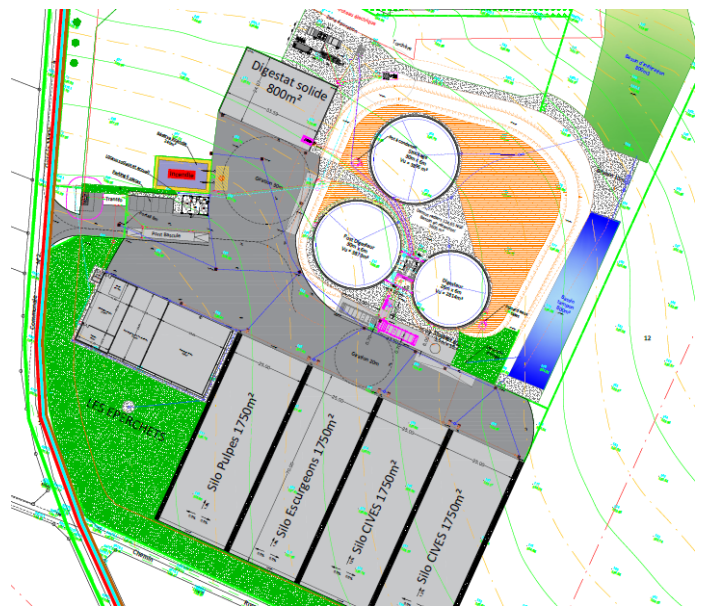
Question 1.5 | **Calculer** le nombre de tonnes d'émission de CO₂ ainsi évité chaque année en France en considérant une production de gaz équivalente à 21×10^9 kWh à l'horizon 2030.

Partie 2 (choix 1) – Comment choisir le processus de méthanisation adapté aux ressources disponibles et le mode de production d'énergie finale optimum ?

L'objectif de cette partie est de valider les choix qui ont été faits au niveau du processus de méthanisation : type de méthaniseur, choix de paramètres liés au process (température, etc.) ainsi que le choix fait pour la valorisation finale du biogaz.

On donne ci-contre un aperçu du schéma d'implantation aérien du site de méthanisation.

Le détail des constituants et les principaux flux d'énergie et de matières sont donnés sur le schéma de principe du DT5.



Question 2.1

DT5, DT8

DR1

Compléter, sur le document **DR1**, les principaux constituants du méthaniseur à l'aide des termes suivants :

« chaudière biogaz », « digesteur », « post-digesteur », « poste d'épuration biogaz », « poste d'injection biométhane », « stockage digestat liquide ».

Tracer en rouge, sur le document **DR1**, le flux du biogaz depuis sa fabrication dans le digesteur jusqu'au poste d'épuration (d'où ressortira du biométhane après épuration).

Afin d'assurer la production de biogaz, il est nécessaire de chauffer le digesteur et le post-digesteur à une température adaptée, ce qui favorisera le processus de méthanisation par la décomposition de bactéries de type « mésophile » ou « thermophile ».

Le choix du type de décomposition influencera aussi le temps de séjour du digestat brut. La chauffe est assurée directement à partir du biogaz produit grâce à la chaudière biogaz.

- Question 2.2 | **Justifier** le choix retenu de s'orienter vers une décomposition mésophile en se limitant au point de vue énergétique.
DT6
- Question 2.3 | **Déterminer par tracé**, sur le document **DR2**, la température optimale permettant le meilleur taux de croissance des méthanogènes en décomposition mésophile et le temps de séjour dans le digesteur correspondant.
DT8
DR2
Conclure quant aux choix qui ont été retenus pour les valeurs de ces 2 paramètres pour notre installation.
- Question 2.4 | **Expliquer** le choix retenu de s'orienter vers l'injection de biométhane sur le réseau en valorisation finale, plutôt que la cogénération.
DT7

Partie 3 – Comment assurer la production optimale de biométhane au niveau du processus tout en limitant l'impact sur l'environnement ?

L'objectif de cette partie est de valider que le choix des intrants est judicieux, que le dimensionnement des éléments de stockage est correct et que le rendement de l'installation est optimum.

- Question 3.1 | **Identifier** le type d'agriculture prépondérante en Picardie (région Hauts-de-France).
DT9, DT10
Expliquer en quoi la Picardie est une terre propice à la méthanisation compte tenu du type d'intrant qu'elle propose.

Le méthaniseur fonctionnant 24h/24 et 7j/7, celui-ci dispose d'un incorporateur automatisé (cuve de stockage tampon) capable de couvrir les besoins journaliers en intrants solides. Ainsi, cela n'oblige pas à avoir une personne sur site en permanence et limite le temps de travail à 1h ou 2h le week-end pour la personne d'astreinte.

La masse volumique des intrants solides est de $700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

- Question 3.2 | **Calculer** le tonnage journalier en intrants solides à stocker dans l'incorporateur.
DT8, DT11
En déduire la capacité journalière de stockage nécessaire en m^3 en intrants solides.
Conclure si l'incorporateur retenu satisfaisait au besoin journalier.

L'installation est dimensionnée pour assurer un débit continu de biogaz de $500 \text{ Nm}^3\cdot\text{h}^{-1}$ (un normal mètre cube par heure, noté $\text{Nm}^3\cdot\text{h}^{-1}$, correspond au débit en mètre cube par heure pour une température et une pression normalisée).

Question 3.3 | **Justifier** le fait que la solution retenue pour l'épuration du biogaz permet de filtrer en continu cette quantité de biogaz.

DT12

En déduire le débit injectable de biométhane en $\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ en sortie du poste d'épuration compte tenu du pourcentage de méthane contenu dans un m^3 de biogaz.

Question 3.4 | **Calculer** la valeur du débit réellement injecté après épuration en $\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ sur le réseau compte tenu des diverses pertes annoncées.

DT12

On considérera, pour la suite, que le débit de biométhane assuré est de $250 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (soit 50 % de la production de biogaz). Chaque Nm^3 de biométhane produit est capable de fournir une énergie égale à 10 kWh.

Question 3.5 | **Calculer** le volume annuel de biométhane produit en Nm^3 compte tenu du temps de fonctionnement effectif de l'installation précisé sur le DT8.

DT8

En déduire l'énergie annuelle produite par le méthaniseur en GWh.

Une partie de l'énergie est autoconsommée pour chauffer le digesteur et post-digesteur. Pour une installation, elle est en moyenne de l'ordre de 15 % à 20 % en décomposition mésophile mais bien moindre dans notre cas.

Question 3.6 | **Relever** le pourcentage d'autoconsommation pour le chauffage dans notre cas.

DT12

Expliquer de quelle manière nous pouvons atteindre une telle valeur à l'aide du DT12.

Une consommation non négligeable d'électricité est nécessaire pour faire fonctionner notre installation. On peut considérer qu'elle est exclusivement liée à la partie « process » au niveau digesteur et post-digesteur (malaxeur de cuve, incorporateur...) ainsi qu'au niveau du poste d'épuration et d'injection.

Question 3.7 | **Déterminer** respectivement l'énergie annuelle consommée en kWh par la partie process $W_{process}$ ainsi que l'énergie consommée par la partie épuration et injection $W_{épuration \text{ et } injection}$ compte tenu du temps effectif de fonctionnement de l'installation.

DT8

Notre méthaniseur doit atteindre un rendement énergétique global supérieur à 90 % pour assurer une rentabilité satisfaisante. Le rendement global de notre installation est tel que :

$$\eta_{global} = \frac{W_{finale \text{ produite } (injectée)}}{W_{finale \text{ produite } (injectée)} + W_{électrique \text{ consommée}}}$$

Question 3.8 | **Déterminer**, à l'aide du DT13, le rendement global de notre installation.

DT13

Conclure si notre méthaniseur est viable économiquement.

Partie 4 (choix 2) – Comment valoriser au mieux le digestat et minimiser son impact sur l'environnement ?

L'objectif de cette partie est de vérifier que les capacités de stockage tampon des digestats sont correctement dimensionnées et que les digestats sont valorisés de manière optimale afin de limiter l'impact environnemental.

Question 4.1

DT14

Expliquer en quoi le digestat est une très bonne alternative pour l'environnement comparé aux engrais chimiques utilisés actuellement.

Ce digestat nécessite toutefois des précautions particulières. En effet, l'ammoniac (NH_3) qu'il contient peut se volatiliser dans l'air lors de l'épandage (dans le cas du digestat liquide). Le digestat peut aussi générer des gaz à effet de serre, tel que le protoxyde d'azote (N_2O) notamment.

Question 4.2

DT15

Relever les deux préconisations les plus efficaces permettant de réduire la formation d'ammoniac et de protoxyde d'azote lors de la phase d'épandage du digestat.

Il faut stocker sur une période plus ou moins longue les digestats solides et liquides sur site ou sur des sites déportés : hangars agricoles pour le digestat solide ou lagunes de stockage pour le digestat liquide.

Question 4.3

DT8, DT11

DR3

Compléter, sur le document **DR3**, dans le tableau correspondant :

- les quantités de digestat liquide et solide à stocker ;
- les capacités totales estimées de stockage de digestat liquide et solide en tenant compte des coefficients de sécurité ;
- les durées de stockage en mois correspondantes.

Conclure, sur le document **DR3**, si les capacités de stockage de digestat liquide et solide sont suffisantes pour assurer la durée minimale de stockage attendue.

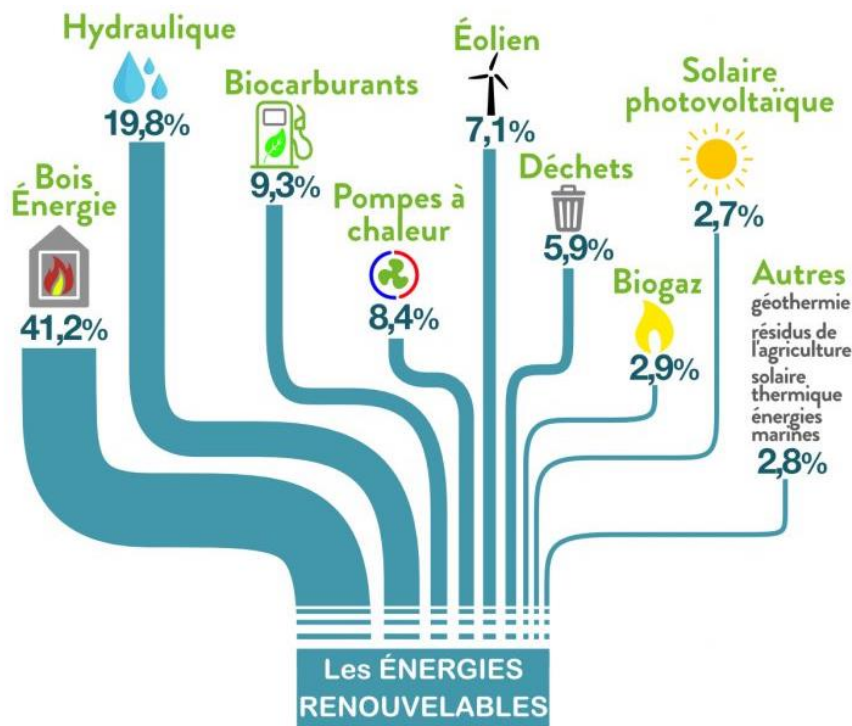
Partie 5 – Comment intégrer le méthaniseur dans l'environnement de proximité des usagers ?

Question 5.1

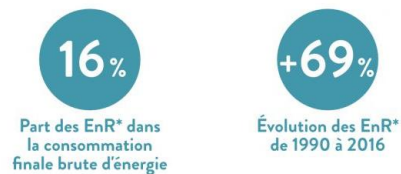
DT16

Relever, pour chaque nuisance, un à deux arguments permettant de réduire les risques potentiels de nuisances olfactives, visuelles et auditives que pourrait engendrer le méthaniseur pour la population de proximité.

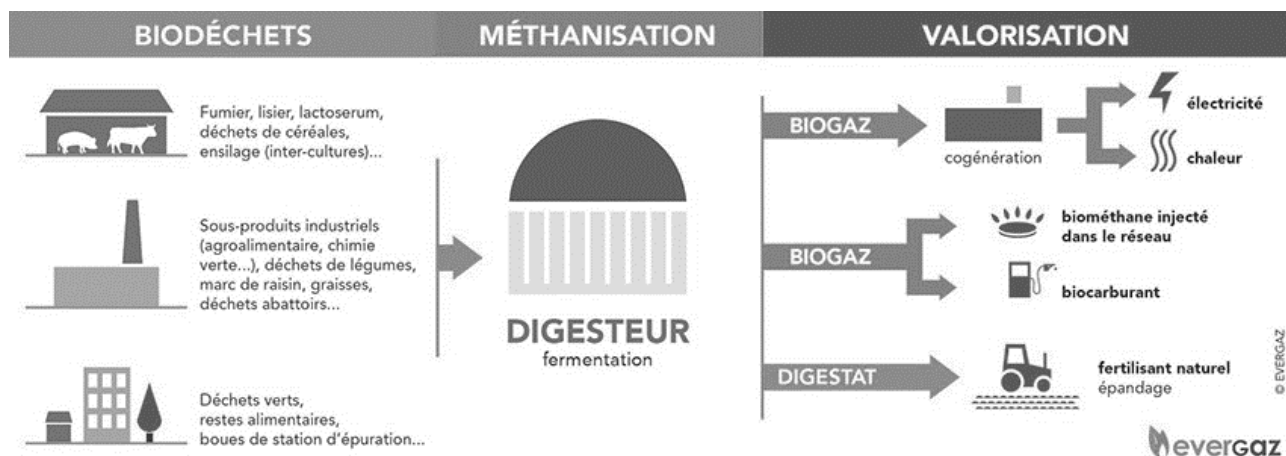
DT1 – Part des Énergies Renouvelable (EnR) en 2018 en France



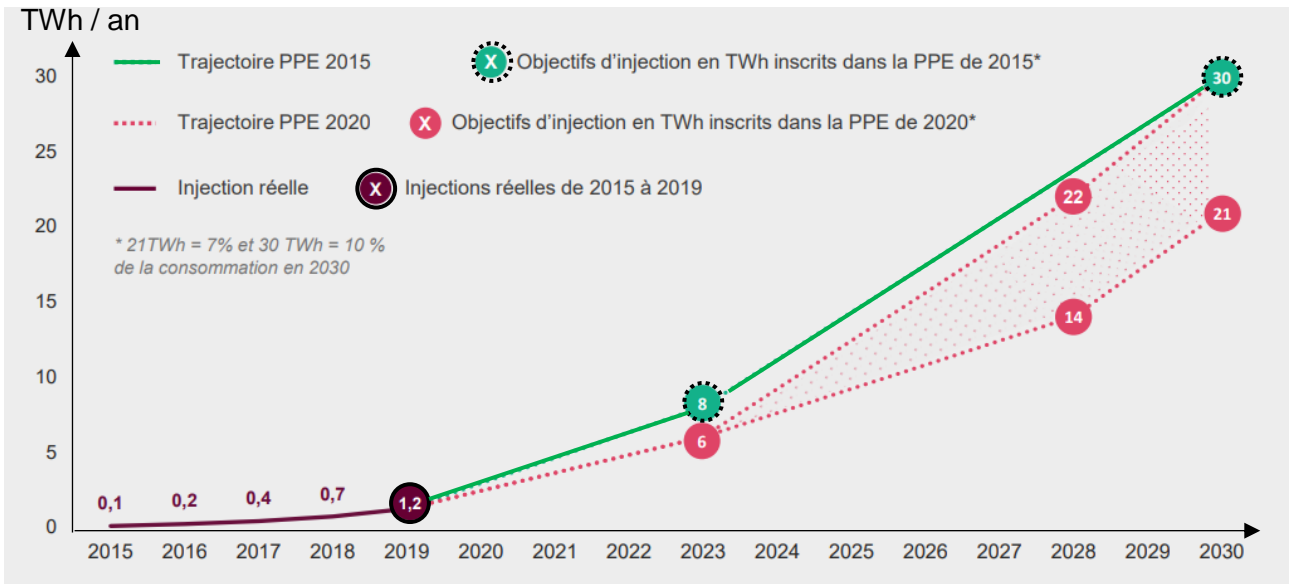
Données clés



DT2 – Schéma de principe de la méthanisation

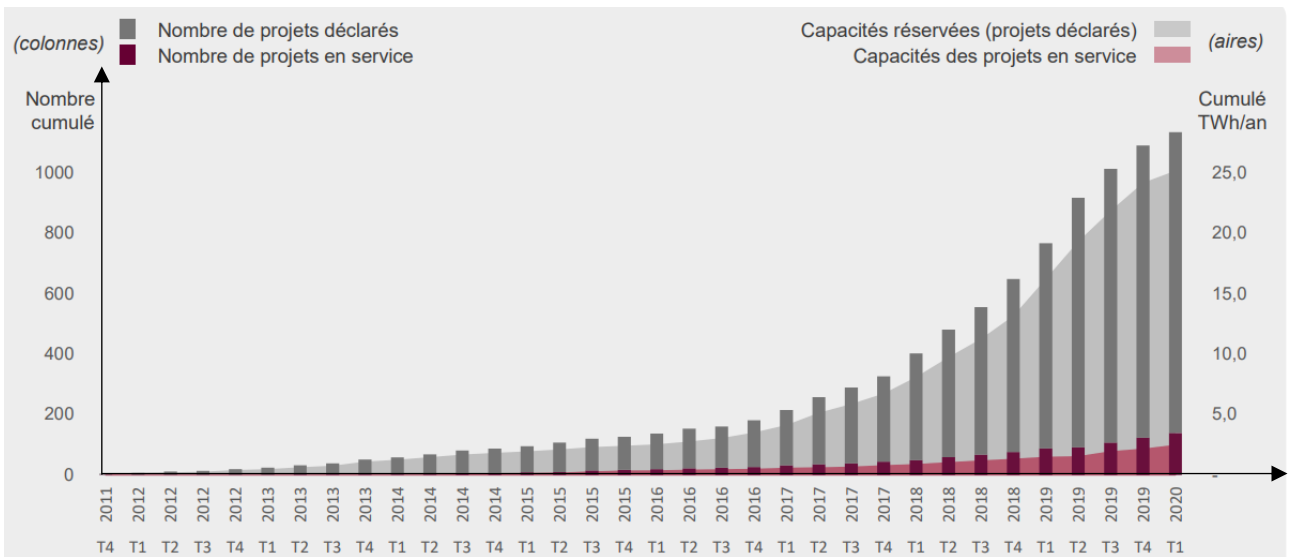


DT3 – Objectifs révisés issus de la Programmation Pluriannuelle de l’Énergie (PPE) publiés en Avril 2020



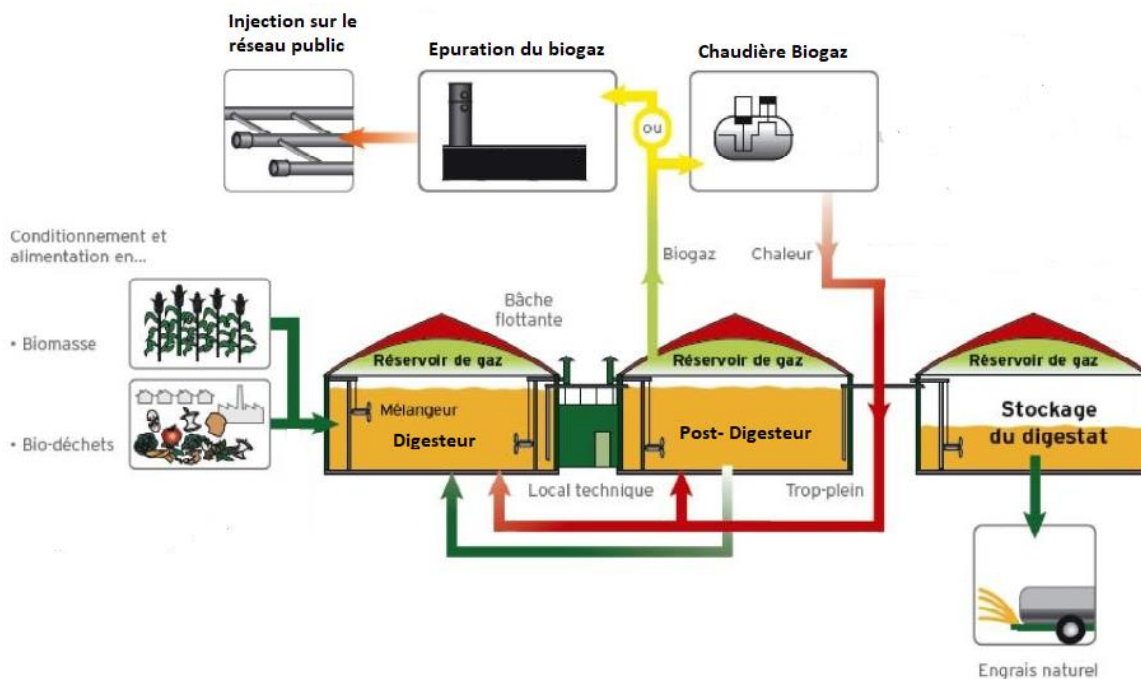
Dans la nouvelle PPE publiée au Journal Officiel le 23 avril 2020, les pouvoirs publics revoient à la baisse les ambitions de développement de la filière biométhane. À l’horizon 2028, c’est une fourchette de 14 à 22 TWh/an qui est fixée, avec la baisse des coûts de production comme variable d’ajustement. Ce choix cumulé à la crise COVID risque d’impacter le nombre de projets concrétisés dans les prochaines années.

DT4 – Évolution du nombre et de la capacité des projets inscrits au registre des capacités (projets déclarés et en service)



Source : Open Data Réseaux Energies

DT5 – Principaux constituants du processus de méthanisation et flux d'énergies / matières associées





DT6 – Comparaison méthanisation mésophile et thermophile

Le tableau ci-dessous compare la méthanisation mésophile et la méthanisation thermophile

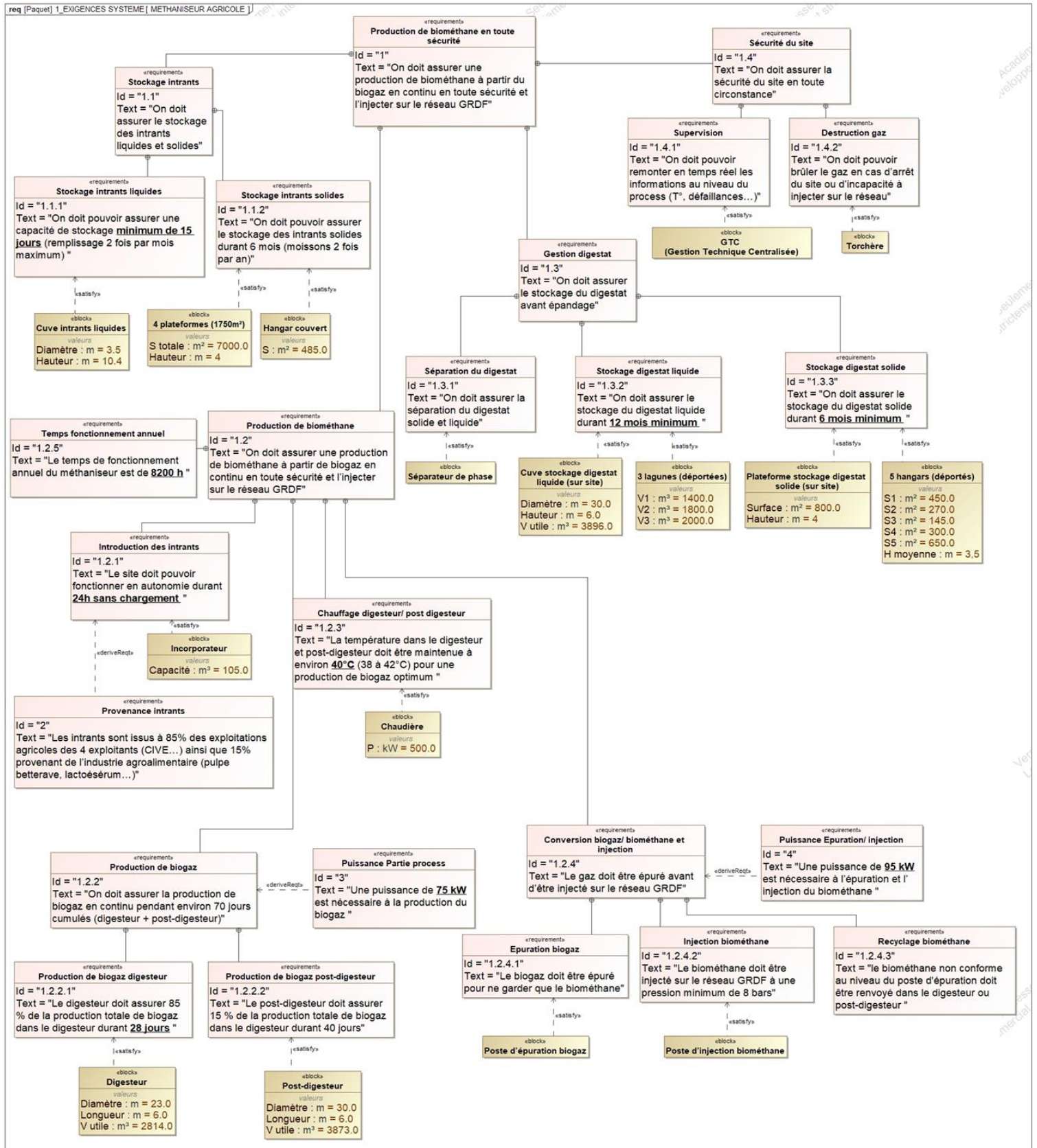
	méthanisation mésophile	méthanisation thermophile
Température	35-40°C	50-65°C
spécificités	Environ 20 % de chaleur autoconsommée Le plus couramment utilisé Biologie plus stable donc plus facile à maîtriser	Environ 35 % de chaleur autoconsommée Hygiénisation plus poussée des germes pathogènes (présente un intérêt lors de l'utilisation de biodéchets) Temps de séjour plus court Meilleure dégradation des chaînes carbonées Biologie plus difficile à maîtriser Risque d'inhibition à l'ammonium plus forte

DT7 – Comparatif des solutions de valorisation du biogaz

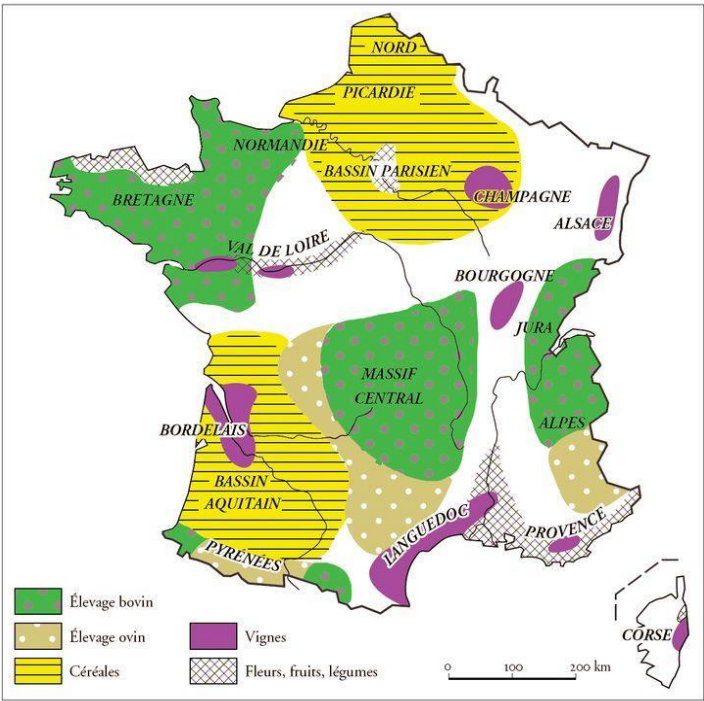
Quelle efficacité énergétique ?

	
Valorisation par injection	Valorisation par cogénération
Rendement énergétique de l'installation	Rendement énergétique de l'installation
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rendement épuration : 98 % ▪ Rendement injection : 100 % <p>Rendement brut global : 98 % (avec chauffage du méthaniseur)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rendement électrique moyen : 40 % ▪ Rendement thermique moyen : 42 % <p>Rendement brut global : 82 % (avec chauffage du méthaniseur)</p>

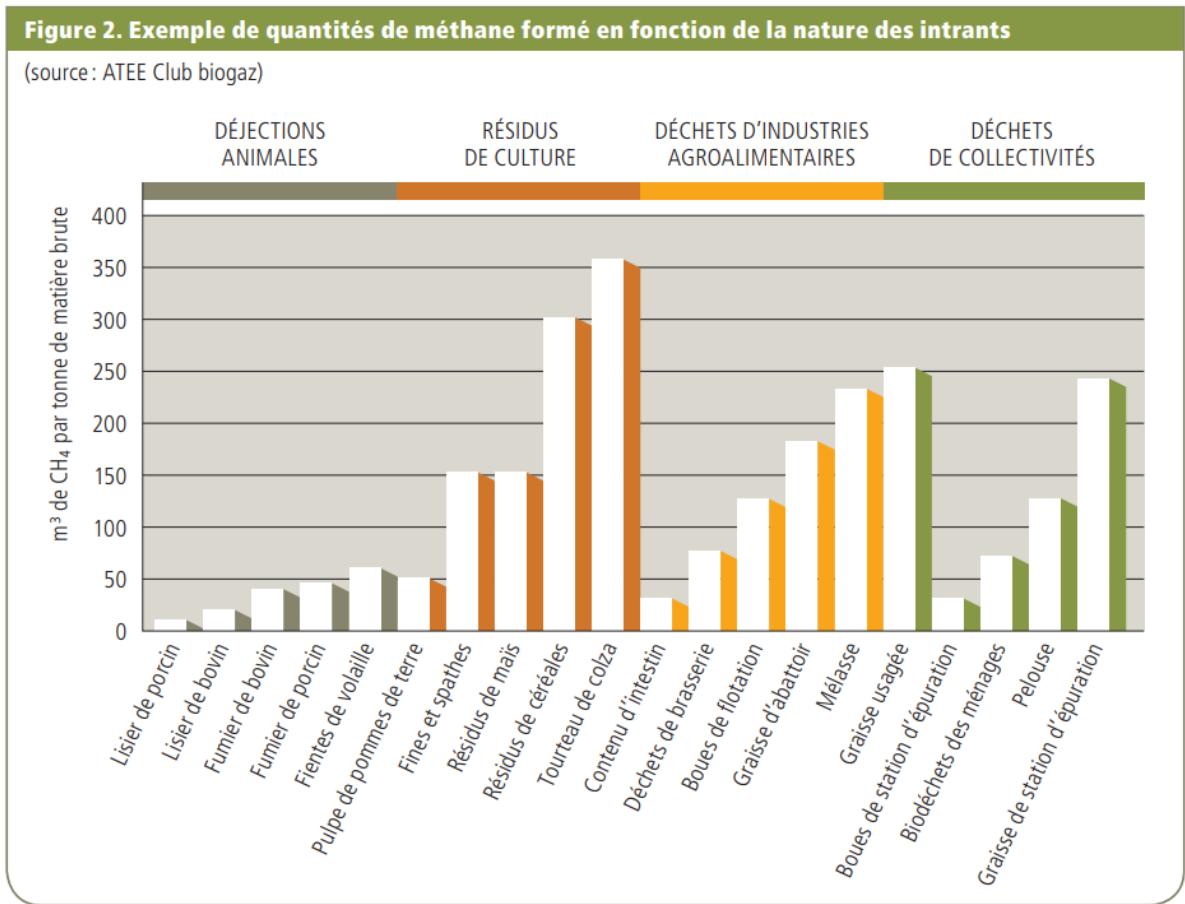
DT8 – Diagramme d'exigences du méthaniseur agricole



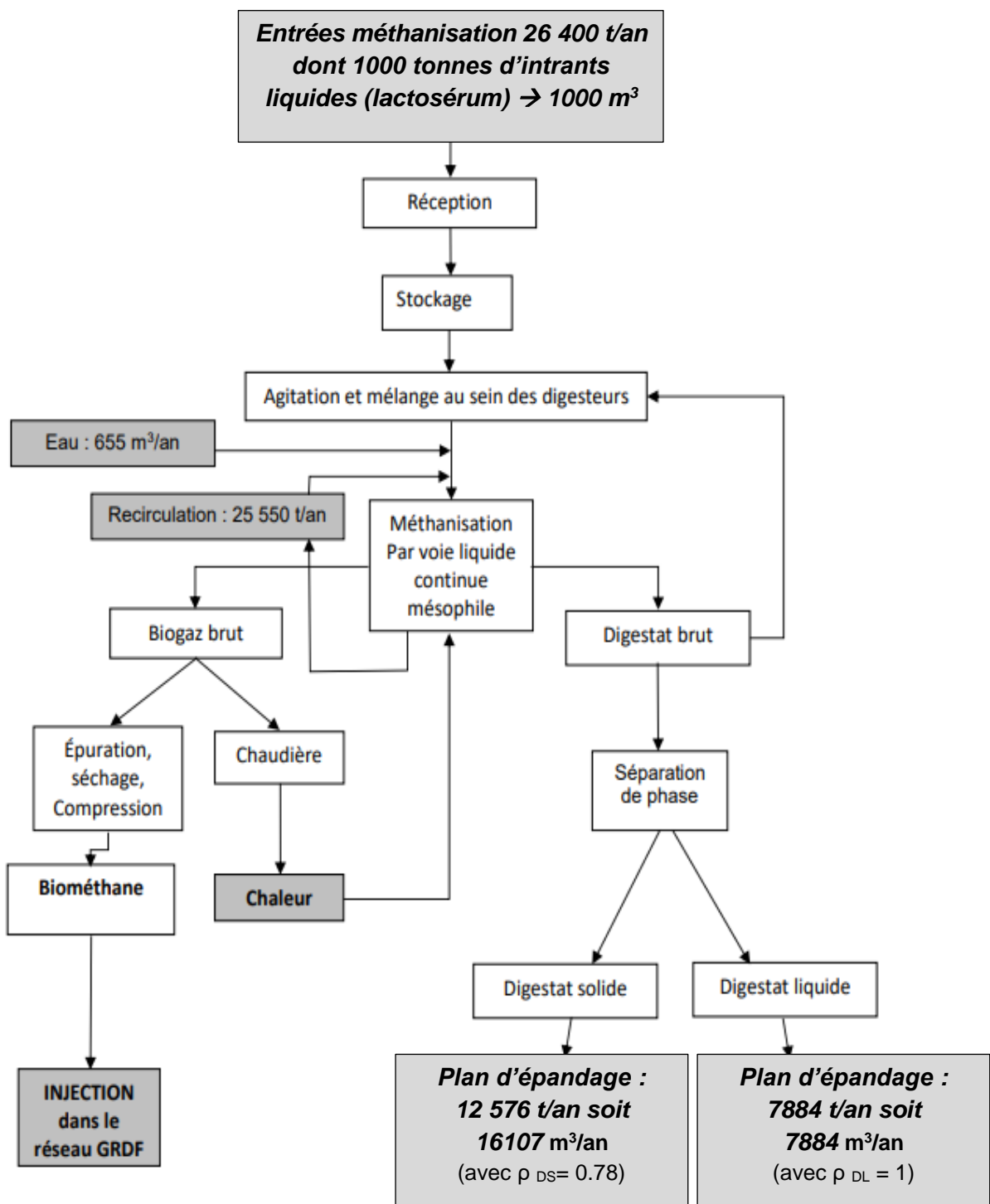
DT9 – Cartographie des régions agricoles françaises



DT10 – Potentiel méthanogène en fonction du type d'intrant



DT11 – Synoptique de l'installation chiffrée



DT12 – Extrait de données issues du dossier ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement)

1.8.6.4 Compression

Le biogaz prétraité et purifié pénétrera au cœur même du système d'épuration, où il sera comprimé à 9 bars. Il passera à travers un système comprenant plusieurs étages de membranes qui séparent le CO₂ du CH₄.

Le système est composé d'un compresseur principal travaillant à 9 bars servant principalement à produire le biométhane.

Un compresseur intermédiaire travaillant à 3 bars permettra de réguler le taux de CH₄ dans le Off-Gaz et de respecter la réglementation.

1.8.6.5 Séchage, chauffage du biogaz

Afin de chauffer les digesteurs, une première partie de l'eau chaude provient de la chaleur récupérée sur les compresseurs (échangeur huile-eau). Une chaudière permet de répondre aux compléments de chauffage.

1.8.6.6 L'épuration

Ces étapes ont lieu dans un conteneur métallique dédié.

Les membranes présentent une capacité de 604 Nm³·h⁻¹ de biogaz.

Le module d'épuration a pour objectif de convertir le biogaz (60 % de méthane, 40 % de CO₂ et quelques impuretés) en biométhane injectable dans le réseau GRTgaz.

1.8.6.8 Bilan de la valorisation du méthane

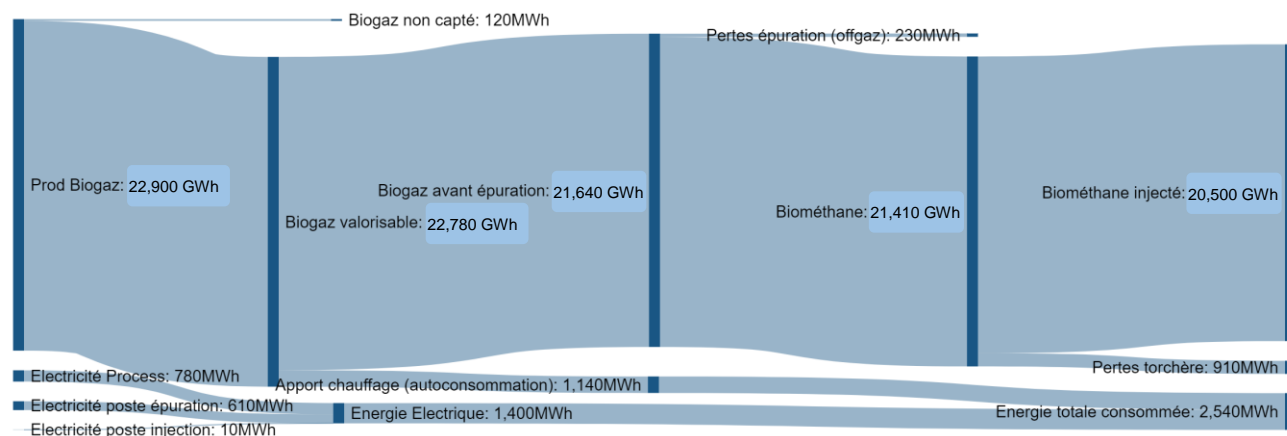
L'étude de faisabilité réalisée par GRDF a montré que la totalité du biométhane peut être injectée sur le réseau. En effet il existe une consommation importante de gaz dans la région, même en été.

Le bilan de valorisation du méthane est (en % du volume produit) de manière générale le suivant :

- 90 % valorisé en injection ;
- < 5 % valorisé en interne (chaudière) ;
- < 4 % détruit en torchère ;
- < 1 % perdu par le offgaz.

Le rendement épuratoire de CH₄ est supérieur à 99,3 %.

DT13 – Bilan énergétique méthaniseur agricole (diagramme Sankey)



*Biogaz non capté lors des opérations de maintenance (ouverture du digesteur ou post-digesteur à l'air libre).

DT14 – Les avantages du digestat (extrait article « Le-gaz.fr » Avril 2018)

LE DIGESTAT, CE FERTILISANT ISSU DE LA MÉTHANISATION IDÉAL POUR L'AGRICULTURE

Le digestat c'est quoi ? C'est le nom donné à la matière organique résiduaire provenant du processus de méthanisation. Lorsque des résidus d'élevages bovins, ovins ou d'agriculture sont valorisés pour être transformés en biométhane, la partie restante est donc le digestat. Toute la question est de savoir quoi en faire ?

Le monde agricole trouve par là un formidable fertilisant. Un fertilisant naturel produit sur place et à moindre coût qui plus est. Utilisé en France mais aussi en Belgique et en Suisse, il affiche des qualités d'un point de vue du rendement toutes aussi intéressantes que les engrais chimiques comme l'explique cet exploitant : "J'ai choisi le digestat pour une raison économique. C'est un aussi bon engrais qu'un chimique. Il apporte les mêmes éléments fertilisants « NPK », soit de l'azote, du phosphore et du potassium et il est nettement moins cher que le chimique".

Le digestat est de la matière organique digérée, d'où son nom. Il permet de booster les cultures à moindre coût lorsque le méthaniseur est implanté au sein même de l'exploitation agricole. Un exemple d'économie circulaire sobre du point de vue de l'environnement. L'agriculteur transforme le résidu de sa culture en biométhane qu'il revend et utilise le digestat pour fertiliser les prochaines cultures.

La boucle est bouclée. Chez nos voisins belges, il est même de plus en plus recherché, la demande ayant dans certains cas été multipliée par 5 en une année à peine. Disponible, performant, économique, le digestat affiche de nombreux avantages. Il est bien plus propre pour les sols que les engrais chimiques.

DT15 – Tableau récapitulatif des actions à mener pour réduire les impacts environnementaux liés au processus de méthanisation

	Actions	Type d'action	Emissions	Faisabilité technique	Maturité	Efficacité	Investissement	
Appro. substrats	GES ET polluants	Optimiser les distances de transport	Réduire	CO ₂ , NO _x	★★★	○	★★★	€
	Odeurs	Laver et rincer les véhicules à chaque débarquement (transport matières solides)	Eviter	Odeurs	★	●	★	€
		Intégrer des canalisation fermées au process de transport des matières liquides (cas de IAA)	Eviter	Odeurs	?	○	★★	€
		Adapter horaires et fréquences de déchargement	Eviter	Odeurs	?	●	★★	€
Stockage/ traitement substrats	GES ET polluants	Minimiser les durées de stockage	Réduire	CH ₄ , CO ₂ , NH ₃	★	●	★★★	€
	Polluants odeur	Confiner lieux de réception puis aspirer et traiter l'air vicié	Eviter et Traiter	NH ₃ , composés soufrés, odeurs	★★★	●	★★★	€€€
Production de biogaz	GES	Détecter et suivre les fuites de biogaz	Eviter	CH ₄ , CO ₂	★★	○	★★	€€€
	Polluants	Etre vigilant lors des réceptions des ouvrages de méthanisation (étanchéité)	Eviter	CH ₄ , CO ₂	★	○	★★★	€€
		Réduire et limiter la formation de H ₂ S en amont ou dans le digesteur	Réduire	H ₂ S	★	●	★★	€
		Suivre les émissions de H ₂ S	Mesurer	H ₂ S	★	●	★★	€€€
Stockage / valorisation biogaz	GES	Détecter et suivre les fuites de biogaz	Eviter	CH ₄ , CO ₂	★★	○	★★	€€€
	Polluants	Optimiser la valorisation énergétique	Eviter	CO, CO ₂	★	○	★★	€
		Eliminer l'ammoniac du biogaz par prétraitement pour améliorer la combustion	Eviter	NO _x	?	○	★★	€€
		Eliminer les polluants traces du biogaz	Traiter	Siloxanes, mercaptans...	?	●	★★	€€€
Stockage/ traitement digestat	GES	Recouvrir les fosses de stockage et récupérer le biogaz résiduaire	Eviter	CH ₄ , CO ₂	★★	○	★★★	€€
	Polluants	Maximiser les temps de séjour dans le digesteur et post-digesteur et capter le biogaz	Réduire	CH ₄ , CO ₂	★	○	★★★	€
		Recouvrir, aspirer et traiter l'air vicié / valoriser les biogaz résiduaire	Eviter	NH ₃	★★	○	★★★	€€
		Traiter l'air vicié	Traiter	NH ₃	★★	●	★★	€€€
Epannage digestat	GES ET polluants	Utiliser une rampe à pendillards ou des enfouisseurs à disques	Réduire	N ₂ O, NH ₃	★	○	★★★	€€
	Polluants	Respecter des périodes d'épandage appropriées	Réduire	N ₂ O, NH ₃	★	●	★★★	€
		Couvrir les véhicules transportant le digestat	Réduire	NH ₃	★	●	★	€

5 Une unité de méthanisation émet-elle des odeurs ?

Des odeurs peuvent provenir des déchets avant méthanisation

Lors de la méthanisation, la décomposition des déchets est réalisée en absence d'oxygène, sans contact avec l'air ambiant et donc sans odeur. Au terme du process, les acides gras volatils responsables des odeurs sont détruits : le digestat produit est pratiquement inodore, même une fois épandu dans les champs. D'ailleurs, de nombreux agriculteurs recourent à la méthanisation pour réduire les odeurs d'épandage agricole des fumiers et des lisiers.

6 Une unité de méthanisation fait-elle du bruit ?

Les émissions sonores d'une unité de méthanisation sont minimales

Lorsque l'installation de méthanisation est équipée d'une unité de cogénération pour produire à la fois de l'électricité et de la chaleur, un moteur tourne en continu. Ce moteur est placé dans un caisson insonorisé qui permet de réduire le bruit à moins de 51 dB (soit le niveau sonore d'une machine à laver) dans un rayon de 50 mètres.

Le matériel de manutention et les engins de chantier utilisés à l'intérieur de l'installation sont également conformes aux limites réglementaires en matière d'émissions sonores, soit moins de 70 dB en journée. Ils sont utilisés pendant les horaires de travail habituels, de 8h à 18h en semaine.

Le trafic est optimisé et limité au maximum

Une grosse installation de méthanisation (unité industrielle) nécessite le passage de 10 camions par jour travaillé.

Pour une unité de méthanisation plus petite (à la ferme), le trafic n'augmente que d'un camion par jour durant les horaires de travail.

Le transport est toujours optimisé pour réduire les distances, limiter les désagréments pour les riverains et réduire la consommation de carburant. De même, les horaires et les trajets de circulation sont adaptés pour éviter les heures de pointe et les zones les plus fréquentées.

8 Quel est son impact sur le paysage ?

Tout est fait pour rendre l'installation la moins visible possible

Pour créer une harmonie visuelle et gêner le moins possible les riverains, plusieurs solutions existent comme le choix de teintes de matériaux adaptées aux milieux environnants, l'enfouissement partiel des cuves de stockage ou des digesteurs, l'implantation de haies autour du site...

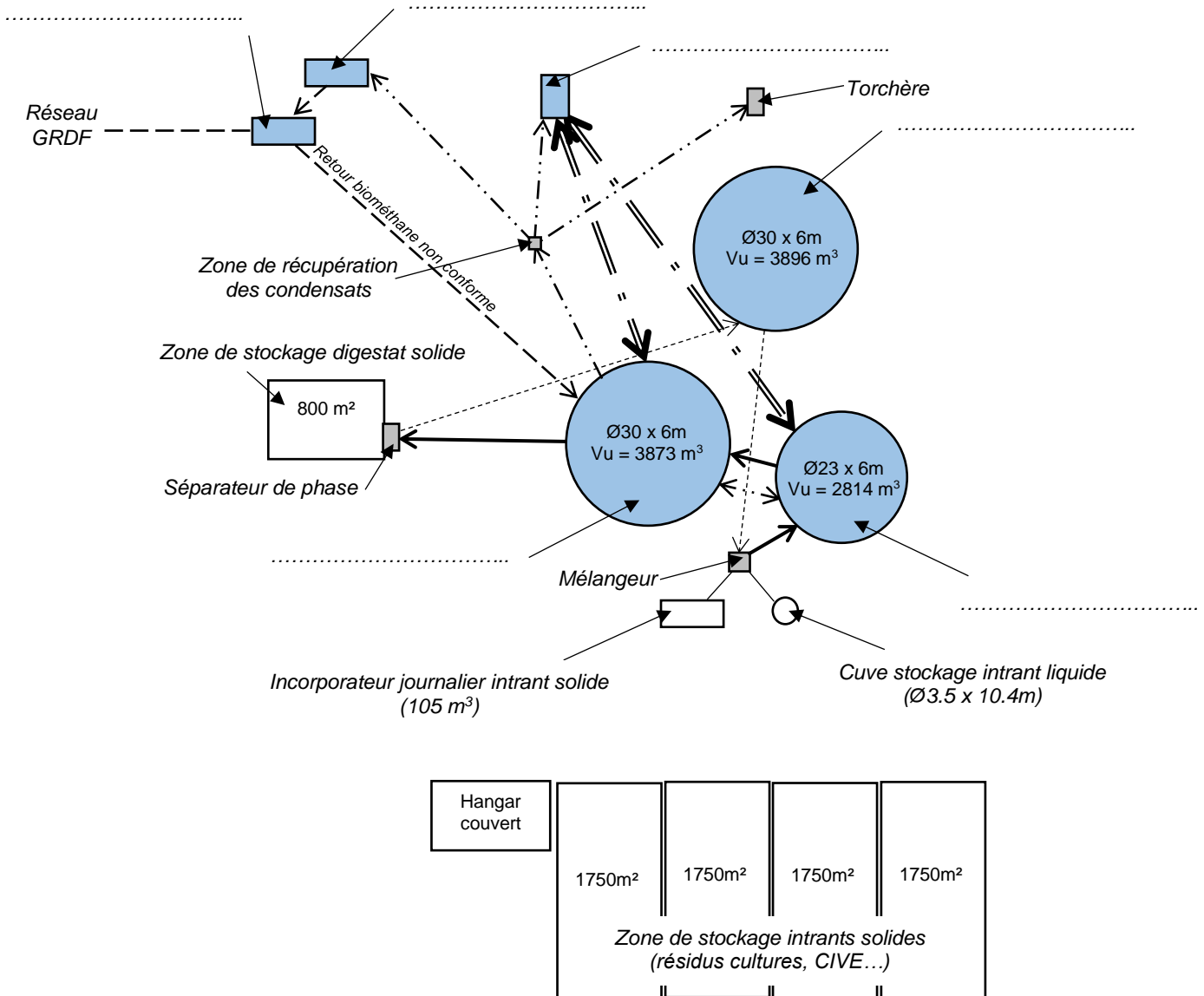
Les porteurs de projet sont également fortement incités à recourir à un architecte expert en intégration paysagère.



L'intégration paysagère est à prendre en compte dès le choix du site d'installation de l'unité de méthanisation. Des couleurs proches de celles de la nature permettent de mieux intégrer les bâtiments dans leur environnement.

DOCUMENT RÉPONSES – DR1

Représentation simplifiée de l'implantation des principaux constituants du méthaniseur et principaux flux d'énergie et de matière

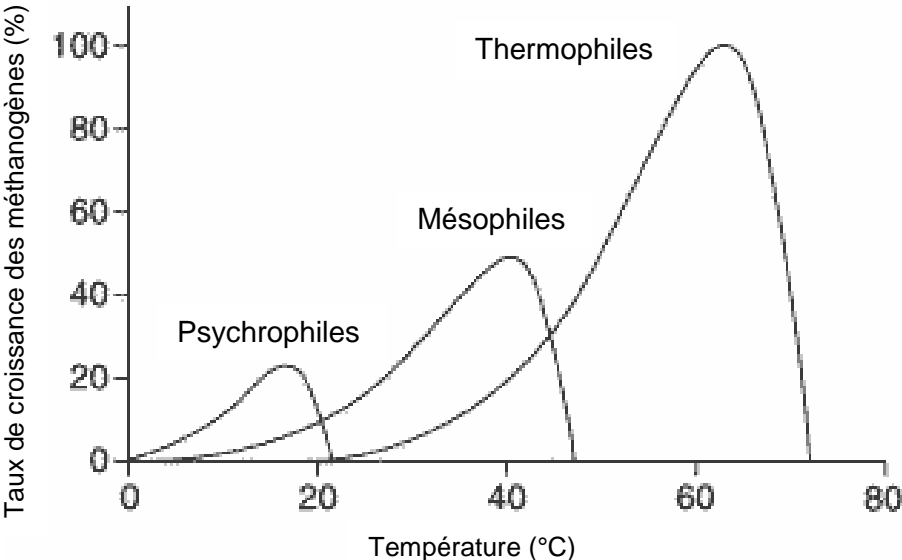


Légende :

- Intrants (solide et/ou liquide)
- Digestat brut
- Digestat liquide
- ==== = == Réseau chaleur
- - - - - Réseau biogaz
- - - - - Réseau biométhane

DOCUMENT RÉPONSES – DR2

Courbes de temps de séjour et de température en fonction des différents types de décomposition possibles



DOCUMENT RÉPONSES – DR3

Tableau récapitulatif des capacités des stockages des digestats solides et liquides

STOCKAGE DIGESTAT LIQUIDE :

Type de stockage	Lieu de stockage	Capacité de stockage en m ³	Volume digestat liquide annuel à stocker (en m ³)	Durée de stockage possible en mois
Cuve stockage digestat liquide	sur site		
Lagune N°1	déporté	1400		
Lagune N°2	déporté	1800		
Lagune N°3	déporté	2000		
capacité totale de stockage			

STOCKAGE DIGESTAT SOLIDE :

Type de stockage	Lieu de stockage	Surface (m ²)	Hauteur moyenne stockage prévue (m)	Coef. de sécurité	Capacité de stockage en m ³	Volume digestat solide annuel à stocker (en m ³)	Durée de stockage possible en mois
plateforme de stockage	sur site	1		
Hangar N°1	déporté	450	3.5	0.8			
Hangar N°2	déporté	145			406		
Hangar N°3	déporté	300			840		
Hangar N°4	déporté	270			756		
Hangar N°5	déporté	650			1820		
capacité totale de stockage						

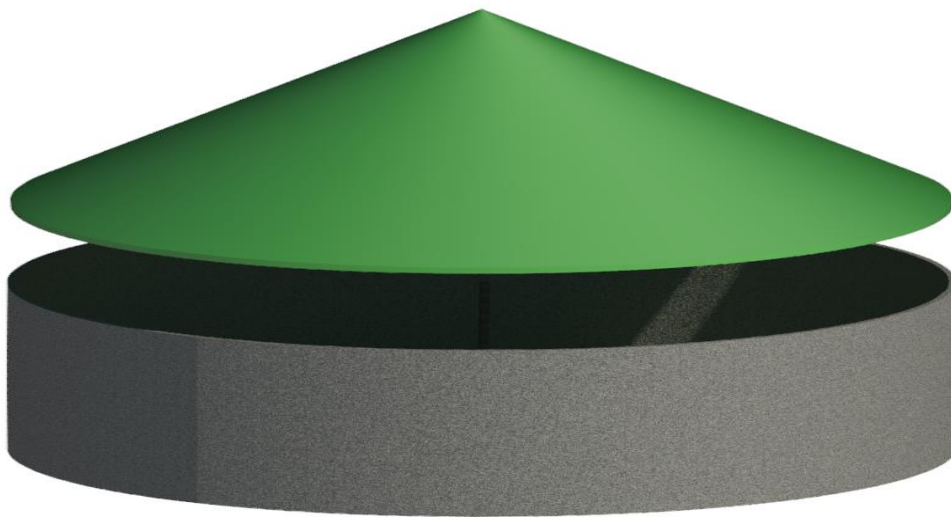
CONCLUSION :

PARTIE SPÉCIFIQUE (8 points)

Architecture et Construction

Digesteur

Étude préliminaire de l'ouvrage

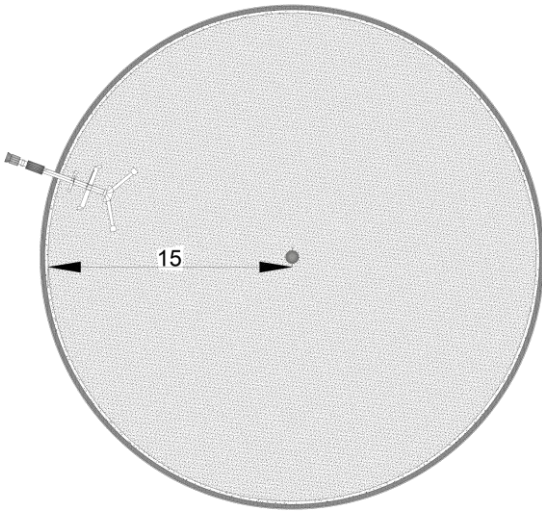


Constitution du sujet :

- **Dossier sujet et questionnement** Pages 22 à 25
- **Dossier technique**..... Pages 26 à 32
- **Documents réponses (à rendre avec la copie)**..... Pages 33 à 37

Mise en situation

On vous demande d'étudier une pièce maîtresse d'une unité de méthanisation : son post-digesteur.

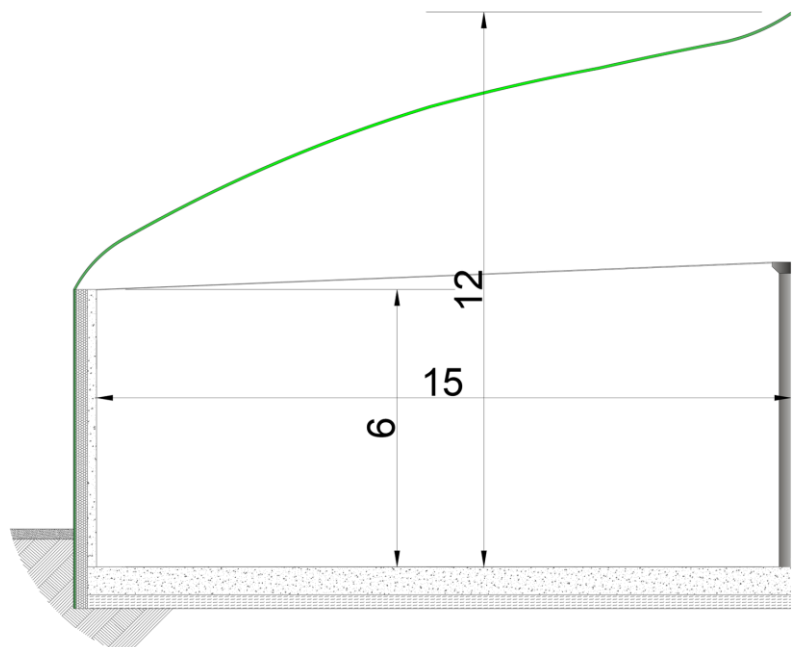


Cette cuve est la plus grande avec 30 m de diamètre intérieur.

La cuve en béton armé est un ouvrage de génie civil qu'il faut étudier avec soin.

En effet, elle est soumise à plusieurs contraintes dues au gaz ou au liquide de digestat : milieu liquide et agressif, pressions, fuites, masses importantes, température à conserver entre 38 et 42 °C...

Une étude préliminaire est menée. Vous avez la charge de la sécurité incendie, du prédimensionnement de l'isolation et enfin de la stabilité du post-digesteur.



Travail demandé

Partie A – Étude de la Sécurité Incendie

Le comportement au feu en cas d'incendie est apprécié d'après deux critères : la résistance au feu et la réaction au feu.

La réglementation envers ce type d'ouvrages stipule qu'il faut respecter des normes :

- Matériaux de classe A1, selon la norme NF EN 13501-1 ;
- Murs extérieurs et murs séparatifs REI 120, selon la norme NF EN 13 501- ;
- Planchers REI 120, selon la norme NF EN 13501-2 ;

Commençons par la résistance au feu. Il faut satisfaire l'exigence de REI.

Question A.1 | **Rechercher** les 2 épaisseurs que doivent faire les voiles (élévations) et le
DTS 3 et 4 | **radier** (la dalle). **Associer** également les épaisseurs d'enrobages qui
seront nécessaires pour respecter cette exigence.

Question A.2 | **Relever** les 2 épaisseurs prévues sur le plan. **Comparer** : Sont-elles
DTS 2 | suffisantes pour respecter ce critère de Résistance au feu ?

Intéressons-nous à présent à la réaction au feu des matériaux d'isolation.

Prenons deux matériaux issus du recyclage du verre : produits A laine de verre et produit B verre cellulaire.

Question A.3 | Lequel des deux est le meilleur matériau à privilégier vis-à-vis du critère de
DTS3, 5, 6 | sécurité Incendie ? **Justifier** votre réponse.

Partie B – Etude des performances thermiques des parois

Après diverses études connexes :

- Attaques chimiques - Hygrométrie (la chaleur ambiante, l'humidité, la condensation)
- Coût - Débit de fuite de la cuve malgré un cuvela
- Rigidité - Remblais en contact sur la tôle de Polystyrène XPS
- Tassements - Poids de l'ouvrage sur Verre cellulaire

Nous arrivons à l'utilisation de deux isolants différents annotés sur le plan DTS2 :

Isolant 1	<i>Élévations périphériques (dont une partie enterrée)</i>	Polystyrène XPS*
Isolant 2	<i>Partie en sous face : enterrée et comprimée</i>	Verre cellulaire

* : On veillera tout particulièrement à mettre un vide d'air important entre la tôle ondulée (inflammable) et l'isolant XPS pour pouvoir respecter le critère A1, il faut protéger l'isolant.



L'étude porte à présent sur la prise en compte du critère thermique. Le digestat doit être conservé entre 38 et 42 °C pour dégager le biométhane tout en consommant le moins d'énergie possible. Ainsi pour limiter ces pertes, on souhaite atteindre une résistance thermique R de :

7 m² · K · W⁻¹ à travers les murs (flux horizontal) et
5 m² · K · W⁻¹ à travers le plancher (flux vertical vers le bas).

Données :

- Conductivité de l'isolant XPS : 0,035 W · m⁻¹ · K⁻¹
- Conductivité du bardage d'Aluminium : 185 W · m⁻¹ · K⁻¹
- Conductivité du Béton Armé : 1,7 W · m⁻¹ · K⁻¹
- Le *R_{si}* et le *R_{se}* seront négligées.
- Hypothèse : on néglige les épaisseurs de revêtements comme la peinture ou les enduits bitumineux mis en œuvre.

Question B.1 | Pour le Polystyrène XPS, peut-on atteindre la résistance thermique *R_{voile}* souhaitée de 7 m² · K · W⁻¹ avec l'épaisseur retenue sur le plan ? **Calculer**
DTS1 et DTS2 | et **conclure**.

Question B.2 | Pour atteindre exactement une résistance thermique de 5 m² · K · W⁻¹,
DTS1, 2 et 6 | **calculer** l'épaisseur du Verre cellulaire avec sa conductivité. Les 30 cm prévus sur le plan sont-ils bien choisis ? **Conclure**.

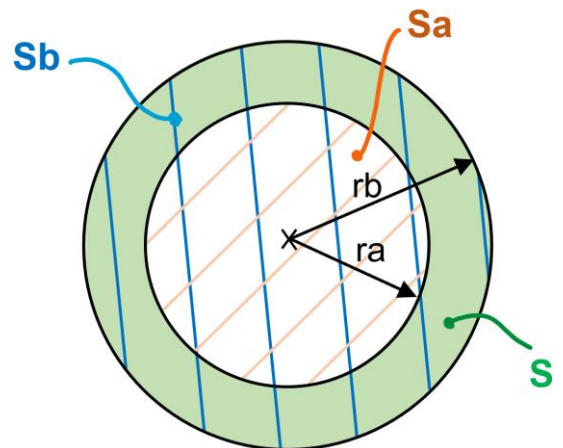
Partie C – Étude de la stabilité de l'ouvrage

Afin de garantir la stabilité de l'ouvrage nous allons faire une descente de charge et la mettre en relation avec l'Étude de sol et ainsi choisir le système de fondation.

Question C.1 | Sur le DRS1, **calculer** les volumes.
DTS2 | **Compléter** les schémas et expressions littérales.
DRS1

Notes :

- Pour celui du Digestat, on partira du postulat que la cuve est totalement pleine sur la hauteur de 6 m à cause d'un incident qui obstrue les évacuations.
- On donne l'indice ci-contre.



Question C.2 | Dans le DRS2, **indiquer** la valeur de la masse volumique manquante.
DTS6 | Puis **calculer** les masses des précédents éléments. Utiliser les valeurs de
DRS2 | volumes présentes dans ce tableau, quelles que soient les valeurs trouvées à la question C.1.

Donnée : accélération de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$

Question C.3 DRS3	Calculer les charges permanentes (G) et d'exploitation de l'ouvrage (Q). A nouveau, utiliser les valeurs présentes dans ce nouveau tableau, quelles que soient les valeurs trouvées à la précédente question.
Question C.4	Calculer la charge totale P_u aux états limites ultimes (ELU) qui s'applique sur le sol (descente de charges) : $P_u = 1,35 \times G + 1,5 \times Q$
Question C.5 DTS7 et DRS4	L'étude géotechnique est donnée sur le DTS7. Annoter les résistances de chaque couche d'horizon de sol sur le DRS4.
Question C.6 DTS1	En considérant la surface de l'ouvrage et pour une valeur de charges aux E.L.U de $P_u = 120 \text{ MN}$, calculer la contrainte σ_u engendrée par l'ouvrage sur le sol.
Question C.7 DTS2 DTS7 et DRS4	D'après le plan DTS2, l'ouvrage repose-t-il sur la terre végétale, les limons, les limons silteux ou le calcaire ? Énoncer dans quelle couche de sol l'ouvrage sera fondé selon cette projection. Justifier .
Question C.8 DTS7 et DRS4	Vérifier par rapport à la reconnaissance géotechnique que le bâtiment ne risque pas de s'enfoncer et reste stable sur cette couche.
Question C.9 DTS7 et DRS4	Proposer une solution à préconiser au Maître d'Ouvrage pour éviter l'enfoncement dans le sol de l'ouvrage. Rédiger une note avec deux propositions.
Question C.10 DTS6	On souhaite à présent vérifier que la couche d'isolant 2 située sous l'ouvrage est capable de résister à la contrainte exercée par l'ouvrage. Donner la résistance à la compression admissible par le verre cellulaire. En prenant une valeur de $\sigma_u = 0,165 \text{ MPa}$, justifier que l'isolant 2 résistera à la contrainte induite par l'ouvrage.

Partie D – Synthèse

« Une piscine, ou une fosse à digesteur, sont des ouvrages de Génie Civil parmi les plus difficiles à réaliser après une centrale nucléaire, un bunker, un hôpital et un viaduc... »

Question D.1 | Pour conclure sur cette étude, **expliquer** en quelques lignes pourquoi les phases de conception et de réalisation d'un digesteur sont complexes.

- Résistance des matériaux -

• **Contrainte à la compression ou à la traction :**
$$[\text{Pa}] \quad \sigma = \frac{F}{S}$$

[N]
[m²]

Avec :

- σ : Contrainte en [N · m⁻²] ou [Pa]
- F : Force (poids par exemple) [N]
- S : Surface [m²]

- Thermique -

• **Résistance :**
$$R = \frac{e}{\lambda}$$
 Avec :

- R : Résistance thermique [m² · K · W⁻¹]
- e : Epaisseur [m]
- λ : Conductivité thermique [W · m⁻¹ · K⁻¹]

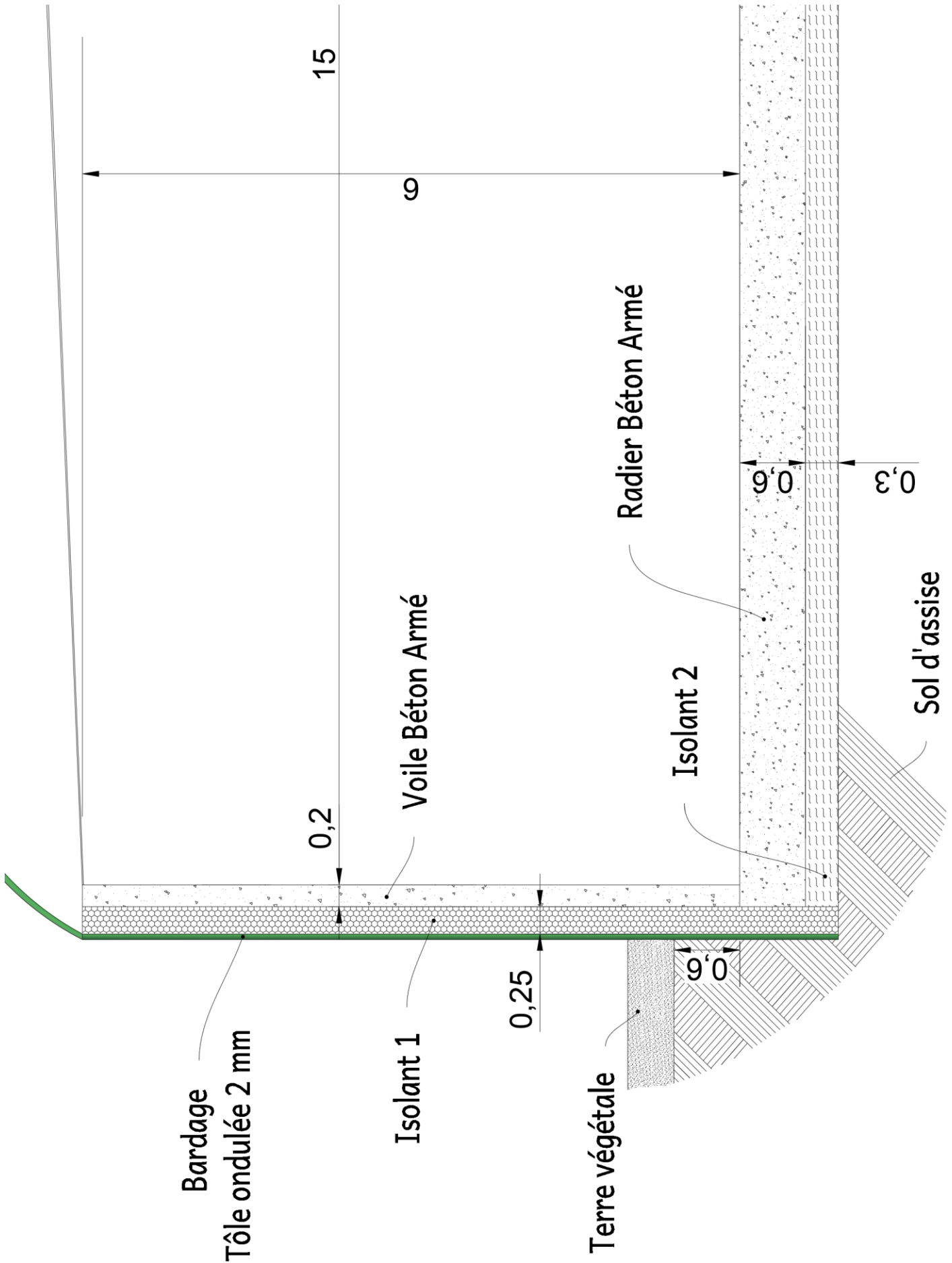
• **Résistance totale d'une paroi :**
$$R_T = R_{si} + R_{se} + \sum \left(\frac{e}{\lambda} \right) + \sum (R)$$

Avec :

- R_T : Résistance thermique totale de la paroi [m² · K · W⁻¹]
- e : Epaisseur [m]
- λ : Conductivité thermique [W · m⁻¹ · K⁻¹]
- R_{si} : Résistance thermique superficielle d'échange intérieur [m² · K · W⁻¹]
- R_{se} : Résistance thermique superficielle d'échange extérieur [m² · K · W⁻¹]
- R : Résistance thermique d'un élément [m² · K · W⁻¹]



DTS2 – Détail de la Coupe Transversale en élévation



DTS3 – Classification des Matériaux : EUROCLASSES

- RÉSISTANCE AU FEU -

Exemples : « EI 60 », « REI 120 »

Elle correspond au temps pendant lequel un matériau peut jouer son rôle selon un ou plusieurs critères.

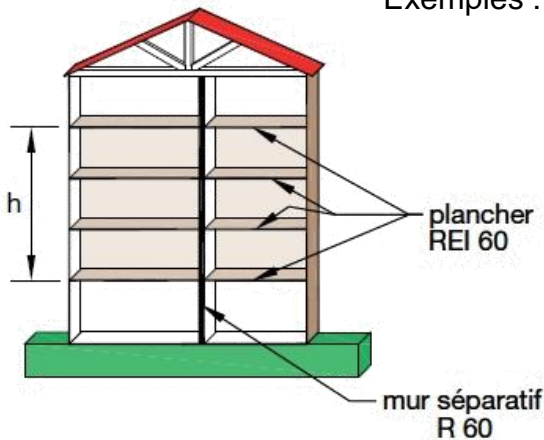
Exemple : REI 30, doit satisfaire pendant 30 minutes les trois critères à la fois : R, E et I



	Définition	Schéma
R	Résistance mécanique (capacité portante)	
E	Étanchéité aux gaz et flammes (aux flammes et absence d'émissions de gaz inflammable du côté de la face non exposée au feu)	
I	Isolation thermique (Élévation de température : Il définit le temps pour atteindre la température de 140°C en moyenne et 180°C ponctuellement sur la face opposée au feu)	 < 140 °C en moyenne < 180 °C en pic
60	Les degrés s'expriment en durée :	15, 20, 30, 45, 60, 90, 120... en minutes

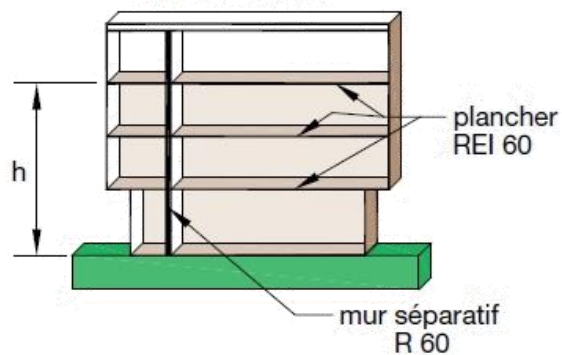
Structure R 60

Exemples :



22-2D2IDACNC1

Structure R 60



- RÉACTION AU FEU -

Exemples : « A1 », « C , s3, d0 », « E , s2, d1 »

La réaction au feu d'un matériau exprime son aptitude à s'enflammer, à contribuer au démarrage et à la propagation d'un incendie.

Trois critères pour établir le comportement d'un produit :

➤ **Inflammabilité en 7 classes : de A1, A2, B, C, D, E et F**

Produits	
A1	- Incombustible, aucune contribution au feu
A2	- Peu combustibles, aucune contribution au feu
B	- Combustibles dont la contribution au feu et au "flash over" est très limitée
C	- Contributions à l'incendie importante et au flash over limitée
D	- Contributions à l'incendie élevée et flash over significative
E	- Combustibles dont la contribution à l'embrasement généralisé est importante
F	- Combustibles dont la contribution à l'embrasement généralisé est très importante - Produits pour lesquels aucune performance de réaction au feu n'a été déterminée ou revendiquée par le fabricant

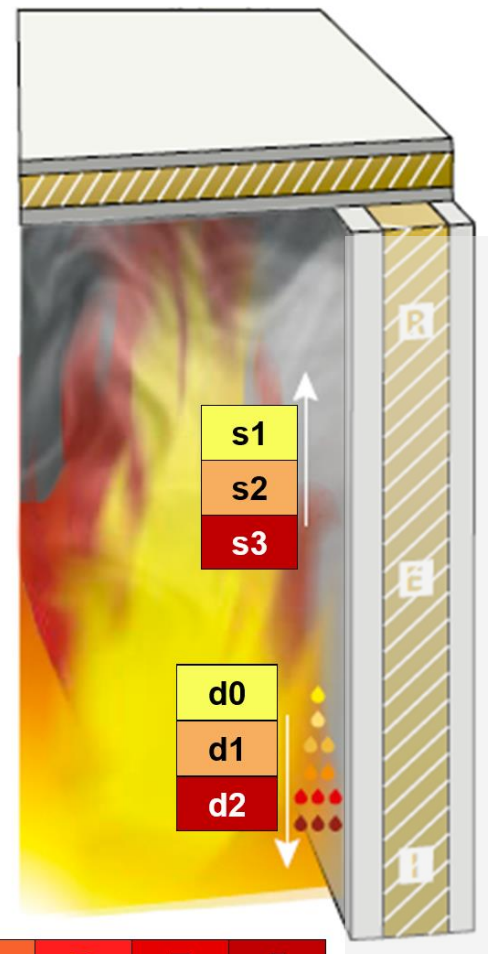
➤ **Production et opacité de fumée : s (Smoke)**

s1	- Faible quantité et vitesse
s2	- Emission de fumées limitées
s3	- Fort dégagement

➤ **Production de gouttelettes (particules, débris) enflammées : d (Drop)**

d0	- Aucune formation de gouttelettes avant 600 s
d1	- Gouttelettes dont l'enflammement persistant pendant plus de 10 secondes avant 600 s
d2	- Les gouttelettes brûlent pendant plus de 10 s

Note : les produits A1 n'ont pas d'indices s ou d en plus car ils sont incombustibles.



DTS4 – Règle simple concernant les murs porteurs et les dalles

Les parois en béton sont régies par des règles simples. L'épaisseur permet de définir ses performances. Pour d'autres matériaux, comme les plaques de plâtre, les fabricants doivent fournir les procès-verbaux à la Maîtrise d'Ouvrage et au Contrôle Technique de la Construction et aux autorités en cas de sinistre.

Caractéristiques (en cm) d'un mur en béton armé selon le degré de Résistance au feu exigé

REI [min]	30	60	90	120	180	240
Epaisseur du mur [cm]	10	11	13	15	20	25
Enrobage des aciers nécessaire [cm]	1	2	3	4	6	7

Caractéristiques (en cm) des dalles en béton armé selon le degré de Résistance au feu exigé

REI [min]	30	60	90	120	180	240
Epaisseur de la dalle [cm]	6	7	9	11	15	17,5
Enrobage des aciers nécessaire [cm]	1	2	2	3	4	4

DTS5 – Produit A : Laine de Verre





Caractéristiques du produit en fonction de la norme EN 13167

Masse volumique (± 15%) (EN 1602)	: 100 kg/m ³
Epaisseur moyenne (EN 823) ± 2 mm	: de 60 à 300 mm
Longueur (EN 822) ± 2 mm	: 600 mm
Largeur (EN 822) ± 2 mm	: 450 mm
Conductivité thermique (EN ISO 10456)	: $\lambda_D \leq 0.036 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
Réaction au feu (EN 13501-1)	: Euroclasse A1
Charge ponctuelle (EN 12430)	: $PL \leq 1.5 \text{ mm}$
Résistance à la compression (EN 826-A)	: $CS \geq 400 \text{ kPa}$
Résistance à la flexion (EN 12089)	: $BS \geq 400 \text{ kPa}$
Résistance à la traction (EN 1607)	: $TR \geq 150 \text{ kPa}$
Fluage (EN 1606)	: CC (1.5/1/50) 225

Description : L'isolation FOAMGLAS® est fabriquée à partir de verre recyclé (≥ 60%)* et de matières premières abondantes dans la nature (sable, dolomite, chaux). FOAMGLAS® est un matériau minéral à 100% et ne contient pas de liant, de gaz ignifugeant ou de gaz nocif pour la couche d'ozone. FOAMGLAS® ne contient pas de COV ou autres substances volatiles.

Réaction au feu (EN 13501-1) : Le matériau qui le compose est conforme à Euroclasse A1. Il est incombustible et ne dégage pas de fumées toxiques en cas d'incendie.

Limites de températures de service : de -265 °C à +430 °C

Résistance à la diffusion de vapeur d'eau : $\mu = \infty$ (EN ISO 10456)

Hygroscopicité : nulle

Capillarité : nulle

Point de fusion : >1000 °C (DIN 4102-17)

Coefficient de dilatation thermique : $9 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (EN 13471)

Chaleur spécifique : 1000 J/(kg·K) (EN ISO 10456)

Caractéristiques du FOAMGLAS®



Performance thermique à l'épreuve du temps



Etanche à l'eau



Résistant aux attaques



Résistant à la compression



Facile à découper



Incombustible



Etanche à la vapeur d'eau



Dimensionnellement stable



Résistant aux acides



Ecologique

- Etude géotechnique -

Reconnaissance des sols

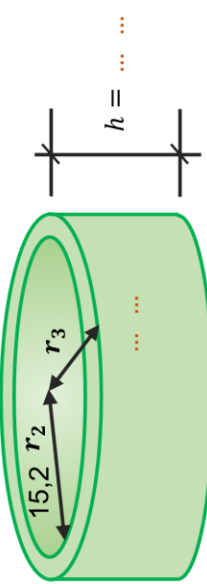

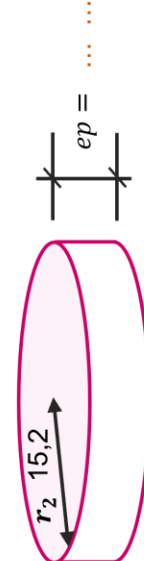
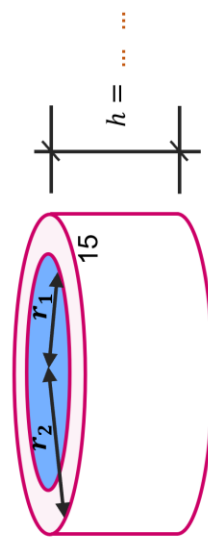
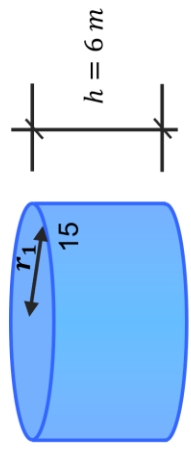
Les sondages exécutés par forage et essai pressiométrique ont permis d'obtenir :

Nature des sols reconnus	Caractéristique mécanique
Terre végétale sur 0,40 m	(Décapé)
Limons sur 2,40 m	0,15 MPa minimum
Limons silteux sur 1 m	0,33 MPa minimum
Calcaire en dessous	1,90 MPa minimum

Hydrologie

Les 8 relevés piézométriques sont restés secs jusqu'à la base. La nappe phréatique est au sein du substratum calcaire et n'intéresse pas ce projet. On estime qu'elle se situe à - 4,50 m de la surface du sol.

DOCUMENT RÉPONSES DRS1 – Métré : Volumes

Dési- gnation	Schéma	Détail des calculs	Volume [m ³]
① Isolant 1 (péri- phérique)		$V_{\text{Isolant 1}} = \dots \dots$ $V_{\text{Isolant 1}} = (\pi \times 15,45^2 - \pi \times 15,2^2) \times 6,9$	
② Isolant 2 (en sous face)		$V_{\text{Isolant 2}} = \pi \times r_2^2 \times ep$ $V_{\text{Isolant 2}} = \dots \dots$	
③ Radier		$V_{\text{Radier}} = \pi \times r_2^2 \times ep$ $V_{\text{Radier}} = \pi \times 15,2^2 \times \dots \dots$	
④ Voile		$V_{\text{Voile}} = (\pi \times r_2^2 - \pi \times r_1^2) \times h$ $V_{\text{Voile}} = \dots \dots$	
⑫ Digestat (Matière organique diluée)		$V_{\text{Digestat}} = \dots \dots$ $V_{\text{Digestat}} = \dots \dots$	

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :

(en majuscules)

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

PRENOM :

(en majuscules)

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

N° candidat :

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

N° d'inscription :

--	--	--

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE







Né(e) le :

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

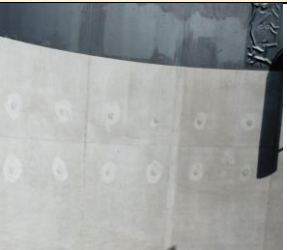


DOCUMENT RÉPONSES DRS2 – Métré : Masses de l'Ouvrage

	Désignation	Volume [m ³]	Masse volumique [kg · m ⁻³]	Masse [kg]
①	Polystyrène XPS	170	30	
②	Verre cellulaire	220		
③	Radier	440	2500	
④	Voile	120	2500	
⑫	Digestat	4240	1600	

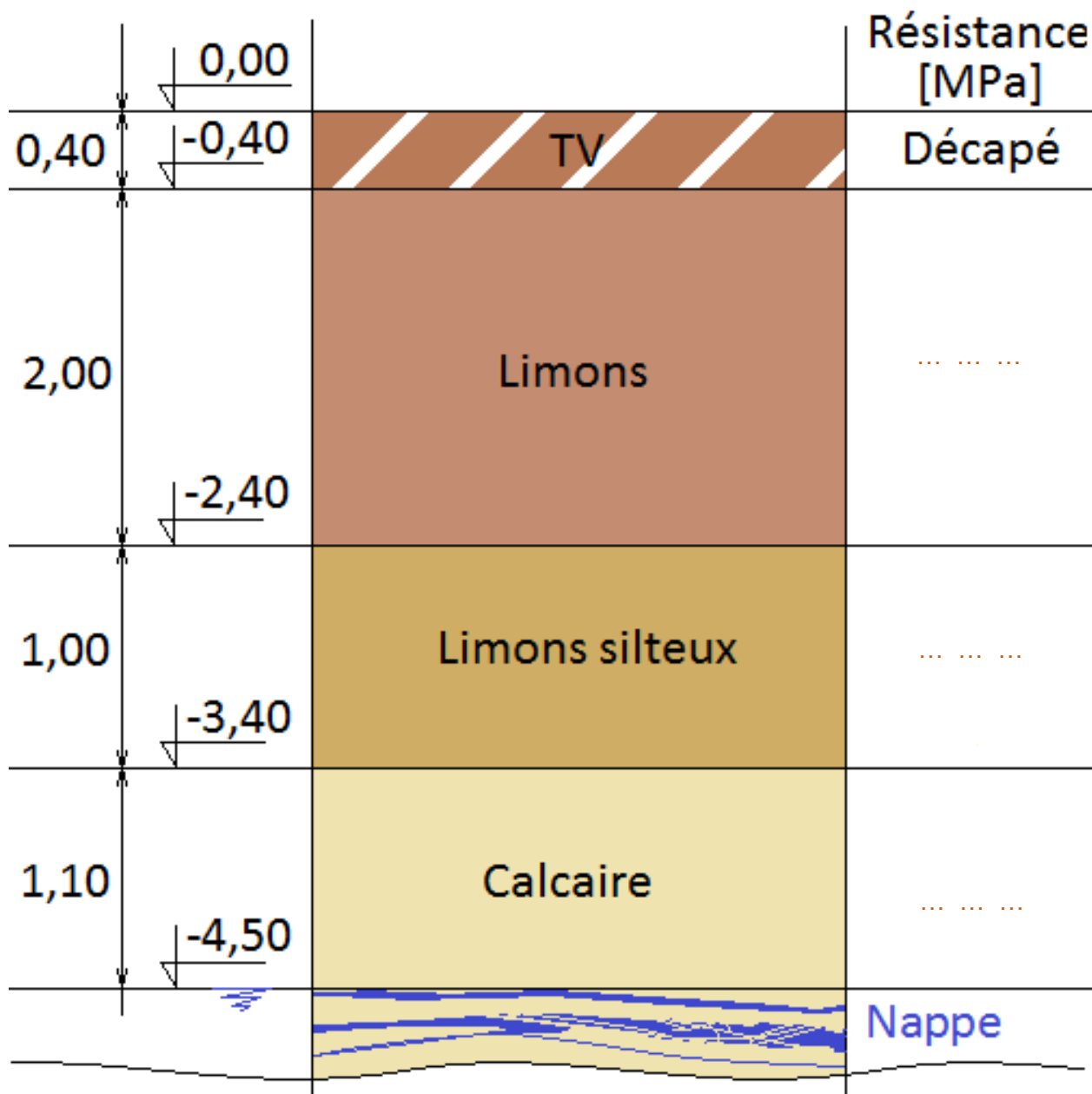
DOCUMENT RÉPONSES DRS3 – Descente de charges

Charges Permanentes G			
	Désignation	Photos	Masse [kg]
①	Polystyrène XPS (périphérique)		5400
②	Verre cellulaire (en sous face)		24 000
③	Radier		1 102 000
④	Voile		300 900
⑤	Bardage aluminium de profil 20/125 de couleur verte avec support		800
⑥	Double-membrane souple		680
⑦	Filet principal et secondaire		78
⑧	Poteau central		500
⑨	Agitateur		890
⑩	Echangeur de chaleur tubulaire radiateur		740

⑪	Autres équipements et réseaux		400
Masse totale =			
Charge totale : G =			

Charges d'Exploitation Q			
	Désignation	Photos	Masse [kg]
⑫	Digestat (Matière organique diluée)		6 785 000
⑬	Réparateur et ses équipements		350
⑭	Neige		52834
Masse totale =			
Charge totale : Q=			

DOCUMENT RÉPONSES DRS4 – Coupe verticale des horizons de sols



PARTIE SPÉCIFIQUE (8 points)

Énergies et Environnement

Méthaniseur Agricole



Constitution du sujet :

- **Dossier sujet et questionnaire** Pages 22 à 25
- **Dossier technique**..... Pages 26 à 31
- **Documents réponses (à rendre avec la copie)**..... Pages 32 à 34

Mise en situation

Le méthaniseur agricole est un système qui s'inscrit directement comme un acteur de la transition énergétique. En effet, transformer une partie des résidus agricoles en méthane (gaz injectable sur le réseau de distribution) permet de préserver les ressources en énergie.

Toutefois, le processus permettant cette transformation est énergivore. Pour fonctionner en toute sécurité, un méthaniseur agricole doit être raccordé au réseau électrique, ainsi qu'à une alimentation secourue, pour alimenter l'ensemble du processus de fabrication : les moteurs, les pompes, le système de chauffage avec le régulateur de température, les systèmes de surveillance et de sécurité entre autres.

L'étude qui suit va nous permettre:

- ✓ d'étudier l'amélioration de l'efficacité énergétique d'un méthaniseur (Partie A) ;
- ✓ d'étudier les solutions d'alimentation électrique de sécurité (Partie B) ;
- ✓ d'étudier le fonctionnement de la régulation de température dans le digesteur (Partie C).

Travail demandé

Partie A – Comment améliorer l'efficacité énergétique du méthaniseur ?

L'énergie électrique est nécessaire à l'alimentation des équipements du méthaniseur agricole. Nous allons étudier la possibilité d'améliorer l'efficacité énergétique de ce système.

Les quatre bâtiments sont équipés d'une toiture ; elles ont respectivement les surfaces suivantes ($S_{toiture}$) : 70 m², 215 m², 275 m² et 585 m². Pour des questions d'exposition au soleil (ombrage), d'orientation au sud et d'inclinaison optimale à 35°, seule 90 % de cette surface totale peut être équipée de panneaux solaires photovoltaïques.

Question A.1

DTS1

DRS1

Déterminer la surface photovoltaïque utile (S_{utile}) que l'on peut exploiter sur l'ensemble des quatre bâtiments équipés d'une toiture.

Calculer le nombre maximum de panneaux (N_{ppv}) que l'on peut installer sur l'ensemble des bâtiments.

Question A.2

DTS1

Identifier la référence du module (panneau) photovoltaïque produisant la plus grande puissance électrique (puissance nominale).

Calculer la puissance nominale maximale (P_{max}) de la centrale installée en toiture des quatre bâtiments dans ces conditions, si ces quatre bâtiments sont équipés de panneaux solaires.

La consommation annuelle d'énergie électrique du méthaniseur est estimée à 1 400 MWh. Le constructeur fait le choix d'installer une centrale photovoltaïque d'une puissance nominale 200 kWc (kilowatt-crête). Le contrat signé avec le fournisseur d'électricité permettra dans ce cas une autoconsommation et de vendre le surplus d'électricité éventuellement produite.

Question A.3

DTS2

Calculer la production annuelle d'électricité (E_{an}) de la centrale photovoltaïque, puis comparer son résultat avec la simulation de production annuelle.

Déduire la consommation d'énergie électrique du méthaniseur qui sera facturée par le fournisseur d'électricité, puis exprimer le pourcentage d'économie réalisée sur la facture d'énergie grâce aux panneaux solaires.

Question A.4

Expliquer en quoi l'installation d'une toiture photovoltaïque sur les toitures des bâtiments permet d'améliorer l'efficacité énergétique du méthaniseur agricole.

Partie B – Comment assurer l'alimentation de sécurité ?

Lorsque l'alimentation générale électrique est coupée, soit accidentellement, soit pour maintenance par le fournisseur d'énergie, la production de gaz par le méthaniseur ne peut pas s'interrompre instantanément. Il est nécessaire, dans ces conditions, de mettre en place une alimentation de secours pour assurer le fonctionnement de l'installation du site de production.

Chaque unité du processus du méthaniseur agricole est équipée d'une alimentation de secours adaptée permettant une alimentation pendant 36 h.

Nous allons étudier l'alimentation électrique de secours du poste d'injection du gaz sur le réseau.

Question B.1

DTS3

Citer les équipements alimentés par le réseau secours.

Calculer la puissance (P_{sec}) nécessaire au fonctionnement du poste d'injection en mode secours.

L'énergie électrique nécessaire au fonctionnement en mode secours est produite à partir de l'énergie solaire. Un groupe de batteries, rechargé par les panneaux solaires, un onduleur 230 V AC, fournissent l'énergie nécessaire en mode secours. Ce groupe de batteries fournit une tension de (U_{bat}) de 24 V DC.

Question B.2

DTS3

Calculer le courant (I_{bat}) que doit délivrer le groupe batteries en supposant que le rendement de l'onduleur est de 1.

Déterminer la capacité (Ah) de l'ensemble du groupe de batteries.

On prendra par la suite une capacité de l'ensemble groupe batterie de 1 725 Ah.

Les panneaux photovoltaïques alimentant les batteries sont identiques à ceux de la centrale solaire, la tension de sortie d'un panneau est de 24 V DC.

Question B.3

DTS4

DRS2

Déterminer les caractéristiques et le nombre de batteries nécessaires à l'alimentation secourue du poste d'injection. On privilégiera un nombre minimal de batteries pour des raisons de maintenance.

Réaliser le câblage de principe des batteries.

Question B.4

DTS5

DRS2

Déterminer la référence de l'onduleur permettant l'alimentation du poste d'injection en mode secouru. **Justifier** la réponse.

Réaliser le câblage de principe de l'ensemble du système d'alimentation secourue.

D'une façon générale, l'ensemble du processus de méthanisation nécessite une alimentation secourue pour assurer la sécurité des biens et des personnes.

Question B.5

Conclure sur la nécessité d'un mode secouru dans le fonctionnement du méthaniseur agricole.

Partie C – Comment contrôler la température dans le digesteur ?

Le digesteur est la partie du processus qui permet la décomposition des matières agricoles. Cette décomposition naturelle n'est possible qu'en atteignant une température comprise entre 35 °C et 45 °C. La chaudière à gaz permet de générer de la chaleur dans le digesteur. Elle est pilotée par un régulateur en mode TOR (Tout Ou Rien). Le régulateur permet de maintenir la température dans le digesteur entre 35°C et 45°C pour une valeur de consigne de 40 °C.

La sonde Pt100 mesure la température dans le digesteur. Le transmetteur convertit cette mesure en une tension (U_{sonde}) image de la température.

Nous allons étudier le fonctionnement du transmetteur Sonde-Régulateur.

Question C.1 | **Justifier** que la sonde choisie permette d'assurer la mesure de la température dans le digesteur.

DTS6

Question C.2 | **Tracer puis relever** les valeurs en sortie de la sonde Pt100 pour les températures suivantes de 35 °C, 40 °C et 45 °C

DRS3

Vérifier par le calcul la valeur de la résistance à la température de consigne de 40 °C.

Pour la suite, nous considérons une résistance de 200 Ω à $T = 40$ °C.

Question C.3 | **Calculer** la valeur du courant (I_{sonde}) pour la consigne de température de 40 °C.

DTS6

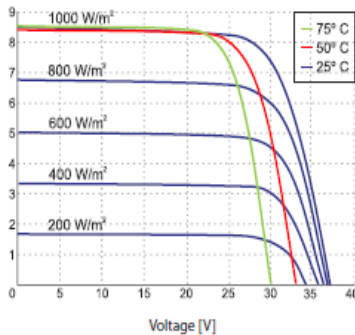
DRS3

Déduire la valeur de la tension (U_{sonde}) pour cette consigne de température.

Question C.4 | **Conclure** sur la nécessité de contrôler la température dans le digesteur pour assurer le fonctionnement du processus de méthanisation.

DTS1 – Caractéristiques des panneaux solaires

Courbe I-V sous diverses irradiances et diverses températures de la cellule



Tension de sortie 24 V DC

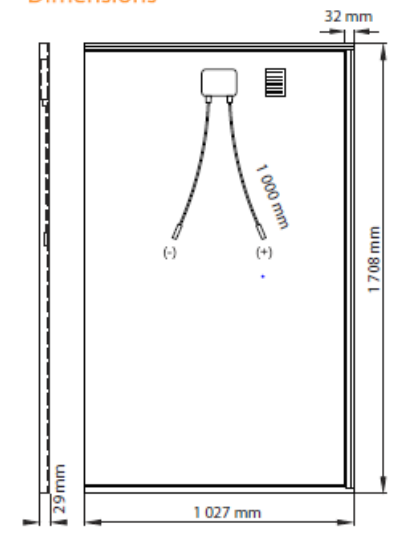
Caractéristiques électriques sous les conditions STC (AM 1,5, 1 000 W/m², 25°C):

Référence module	BSO	315	320	325	330	335
Puissance nominale	P_{MPP} [W]	315	320	325	330	335
Courant de court-circuit	I_{CC} [A]	9,80	9,80	9,90	9,95	10,05
Tension en circuit ouvert	U_{CO} [V]	42,5	42,6	42,7	42,9	43,0
Courant au point de puissance maximale	I_{MPP} [A]	9,05	9,15	9,25	9,35	9,45
Tension au point de puissance maximale	U_{MPP} [V]	34,8	35,0	35,1	35,3	35,4
Rendement cellule	η_C [%]	21,5	21,2	21,5	21,8	22,2
Rendement module	η_M [%]	18,9	19,2	19,5	19,8	20,5
Tolérance de puissance en sortie		±3 %				
Courant inverse maximum		18 A				
Voltage maximum du réseau		1.000 V (Anwendungsklasse A)				

Caractéristiques mécaniques:

Longueur x largeur x épaisseur	1 708 mm x 1 027 mm x 29 mm
Poids	18,8 kg
Cellules solaires	60 cellules monocristallines en série / 158,75 mm x 158,75 mm
Boîte de jonction / Connecteurs	Trois diodes by-pass / Compatible MC4 / IP 68
Cadre	Solrif®
Verre	Verre 3,2 mm avec traitement anti-reflet / trempé / grande transparence / faible teneur en fer
Conditionnement	24 modules par palette / gerbable 2 fois
Charge nominale certifiée (neige / vent)	2 400 Pa / 2 400 Pa
Résistance à l'impact	Grélon / Ø 25 mm / 83 km/h

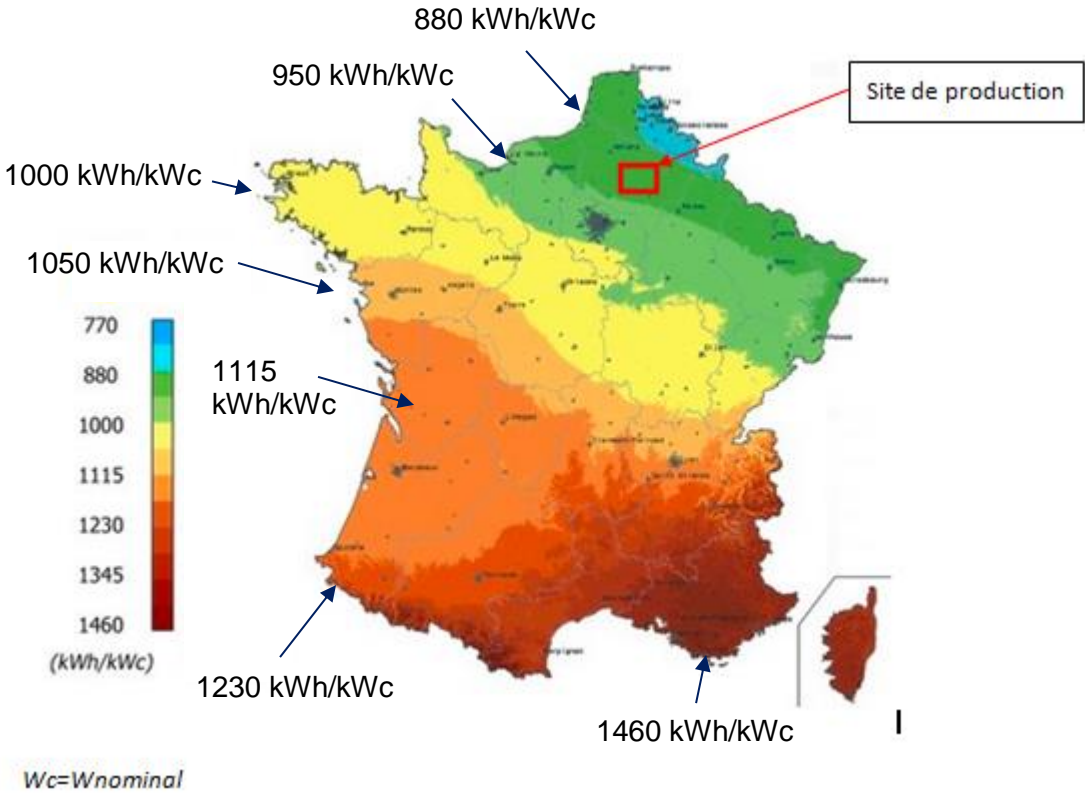
Dimensions



Surface panneau: S_p

DTS2 – Carte de production annuelle photovoltaïque en France

Panneaux orientation sud avec un angle de 35°



La valeur donnée en kWh est la production d'énergie annuelle par kWc installé en panneau solaire.

Simulation de production d'énergie solaire pour une centrale de 200 kWc

Choix de la ville :
 Prendre en compte un masque :
 Inclinaison du plan : Orientation du plan : Albédo du sol :
 Puissance crête de l'installation PV : kW

Calcul de la production électrique, moyenne par jour ou cumulée [COMPARAISONS](#)

-	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	année
IGP (kWh/m²)	34	61	91	129	150	147	161	140	106	76	45	26	1166
Prod. (kWh)	5058	9082	13577	19312	22534	22107	24096	21017	15900	11433	6818	3942	174875

DTS3 – Liste des consommateurs électriques du poste d'injection

Légende :

Consommateurs alimentés en mode secouru

Description des consommations	24V	230V	Puissance consommée nominale [W]
	DC	AC	
Chauffage de la station		x	2000
Eclairage		x	200
Ventilation de la salle de contrôle		x	75
PLC	x		15
Touch-Panel (HMI)	x		35
Panel-PC	x		180
Analyseur EnCal3000 (1)	x		18
Analyseur EnCal3000 (2)	x		18
Gas-net3000	x		6
Analyseur d'humidité	x		5
Pompe injection THT		x	250
EK220 (injection)	x		25
EK220 (recyclage)	x		25
Vanne de la ligne d'entée		x	180
Vanne de la ligne de recirculation		x	180
Vanne de la ligne d'injection		x	180
Modem (fourni par producteur)	x		7
Station incendie (Drager)		x	180
Bandeau prise électrique		x	3680

puissance consommée [W] (max.):	7259
puissance consommée [W] (moyenne):	1191
courant maximum aux arrivées électriques [Amps]:	31,58
design des fusibles aux alimentations en 230V AC [Amps]:	32

DTS4 – Caractéristiques des batteries de l'alimentation secourue



12 Volt Deep Cycle AGM						
Référence	Ah	V	L x h x p Mm	Poids kg	CCA @0°F	RES CAP @80°F
BAT406225084	240	6	320 x 176 x 247	31	700	270
BAT212070084	8	12	151 x 65 x 101	2,5		
BAT212120086	14	12	151 x 98 x 101	4,4		
BAT212200084	22	12	181 x 77 x 167	5,8		
BAT412350084	38	12	197 x 165 x 170	12,5		
BAT412550084	60	12	229 x 138 x 227	20	280	80
BAT412600084	66	12	258 x 166 x 235	24	300	90
BAT412800084	90	12	350 x 167 x 183	27	400	130
BAT412101084	110	12	330 x 171 x 220	32	500	170
BAT412121084	130	12	410 x 176 x 227	38	550	200
BAT412151084	165	12	485 x 172 x 240	47	600	220
BAT412201084	220	12	522 x 238 x 240	65	650	250
BAT412124081	240	12	522 x 240 x 224	67	650	250

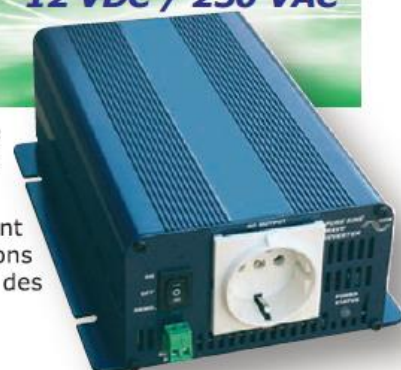
DTS5 – Caractéristiques de l'onduleur de l'alimentation secourue



Expert depuis 1985 dans la conversion d'énergie électrique, TECSUP propose une gamme complète d'onduleurs pur sinus pour transformer l'énergie d'une batterie (tension continue de 12 ou 24 VDC) en énergie identique à celle du secteur (230 VAC).

Protégés, silencieux et de haute fiabilité, les onduleurs proposés par TECSUP sont prévus pour fonctionner dans des environnements sensibles aux perturbations électromagnétiques. **Rendement élevé et constant**, de 90 à 94% en fonction des références.

- Pur Sinus (< 3% DHT)
- Importants pics de puissance acceptés au démarrage.
- Protection complète de l'onduleur : tension basse alimentation, alarme batteries basse, surcharge consommateurs, surchauffe, court-circuit, surtension alimentation.
- Niveau de stand-by réglable sur une grande plage et depuis un seuil très bas.
- Alimentation de tout type d'appareil électrique sans restriction.
- Ventilateur de refroidissement asservi à la charge de sortie.



	Puissance nominale	600 W	1000 W	1500 W	2000 W	3000 W
	Puissance Max. en pointe	800 W	2000 W	3000 W	4000 W	6000 W
	Dimensions (mm)	295 x 180 x 72	383 x 182 x 88	415 x 191 x 88	422 x 208 x 166	452 x 208 x 166
	Poids	2.7 Kg	4 Kg	4.8 Kg	9 Kg	9.8 Kg
	Détection de charge réglable	Non	20 à 110 W	20 à 110 W	40 à 220 W	40 à 220 W
	Température de fonctionnement	0°C à + 40°C				
	Sécurité / EMC	EN60950-1 ; UL458 ; FCC Classe A ; EN55022 classe A ; EN61000-3-2, 3 Marquage e 13 * 72/245/EEC, 95/54/EC				
Onduleurs 12 VDC / 230 VAC	Rendement	90%	91%	90%	91%	90%
	Consommation à vide	0.83 A	1.20 A	1.40 A	2.64 A	2.80 A
	Consommation "stand by"	--	0.25 A	0.28 A	0.60 A	0.50 A
	Référence	CPS 600 12	CPS 1000 12	CPS 1500 12	CPS 2000 12	CPS 3000 12
Onduleurs 24 VDC / 230 VAC	Rendement	93%	93%	93%	94%	93%
	Consommation à vide	0.43 A	0.60 A	0.70 A	1.32 A	1.50 A
	Consommation "stand by"	--	0.15 A	0.15 A	0.25 A	0.35 A
	Référence	CPS 600 24	CPS 1000 24	CPS 1500 24	CPS 2000 24	CPS 3000 24

DTS6 – Caractéristiques de la sonde de température

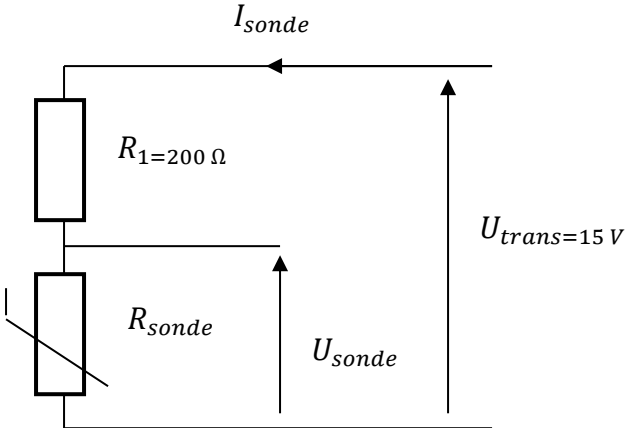


Plaque signalétique

- Conception du capteur
- Elément de mesure (1x Pt1000)
 - Méthode de raccordement (raccordement à 2 fils)
 - Tolérance de l'élément de mesure (classe B)

	WIKAI	TF41	Type	
	1xPt1000/2-L/B			
Etendue de mesure admissible	-40 ... +100 °C			P/N 12345678 — Numéro d'article
Indice de protection du boîtier	IP 65			S/N 1234567 — Numéro de la commande de production

Sonde PT100 2fils

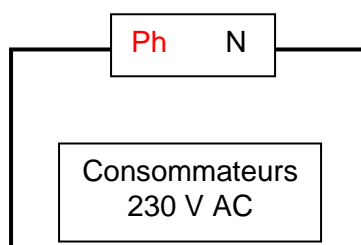
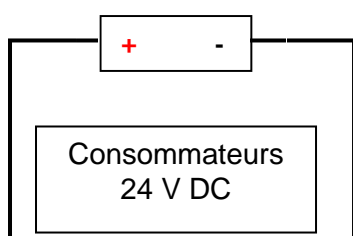
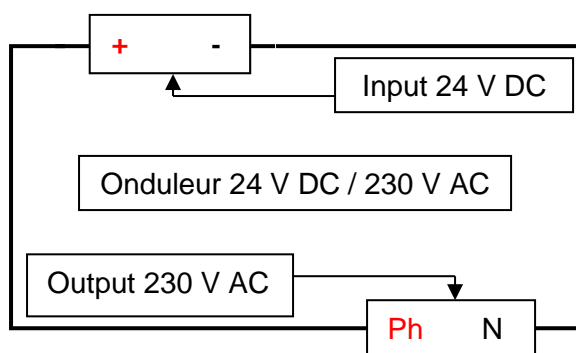
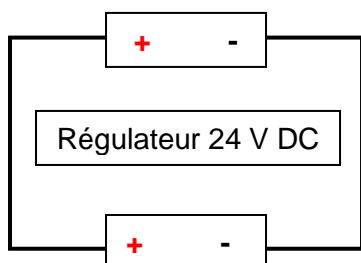
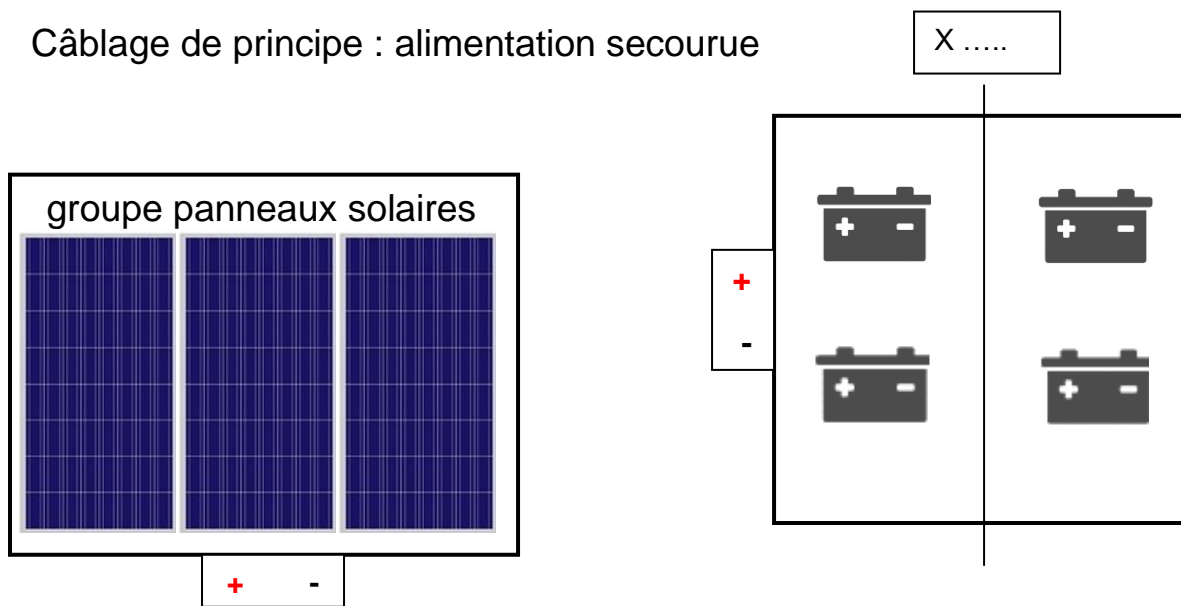


DOCUMENT RÉPONSES – DRS1

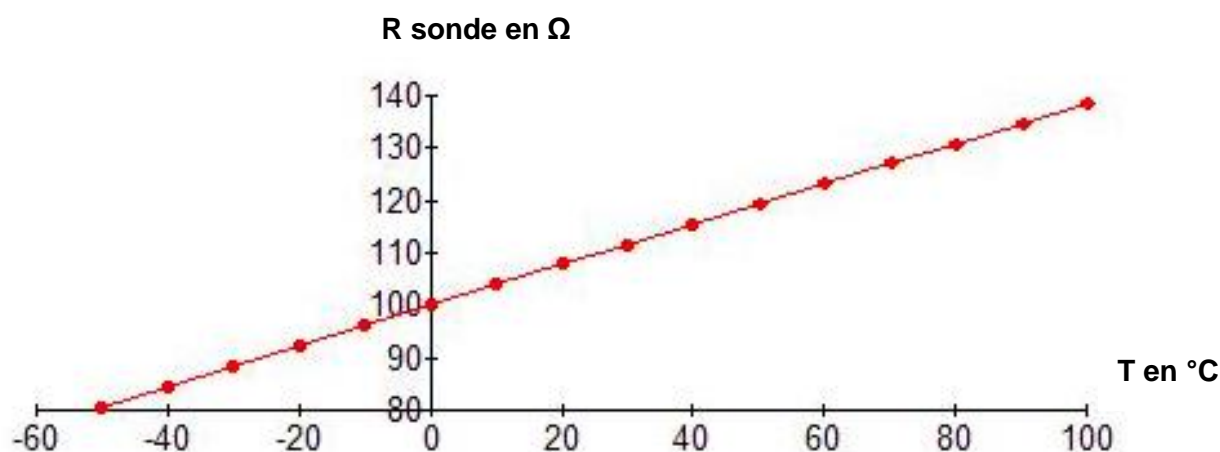
Bâtiments	$S_{toiture\ en\ m^2}$	$S_{utile\ en\ m^2}$	$S_{panneau\ en\ m^2}$	N_{bpu}
Bâtiment 1				
Bâtiment 2				
Bâtiment 3				
Bâtiment 4				
Total				

DOCUMENT RÉPONSES – DRS2

Câblage de principe : alimentation secourue



Courbe sonde Pt100



Formule Pt100

Pour relever la température dans un four on utilise une sonde PT100. La loi de variation de la résistance en fonction de la température est donnée par :

$$R_{\theta} = R_0 (1 + \alpha \times \theta)$$

avec R_{θ} résistance à la température mesurée θ , R_0 résistance à 0 °C (100 Ω),
 α coefficient = $3,85 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ et θ température mesurée

	Température de mesure		
	t = 35°C	t = 40°C	t = 45°C
Valeurs relevées sur le tracé en Ω			
Valeurs par le calcul Ω			
U_{sonde} en V			

PARTIE SPÉCIFIQUE (8 points)

Innovation Technologique et Éco-Conception

Méthaniseur Agricole



Constitution du sujet :

- **Dossier sujet et questionnaire** Pages 22 à 26
- **Dossier technique**..... Pages 27 à 32
- **Documents réponses (à rendre avec la copie)**.....Pages 33 à 34

Mise en situation

L'étude qui suit nous permettra de valider :

- ✓ que le système de dosage des intrants solides au niveau du digesteur est correctement dimensionné (Partie A) ;
- ✓ que les matériaux retenus pour les conduites de biogaz et/ou biométhane, leur dimensionnement et leur mode d'assemblage sont satisfaisants (partie B) ;
- ✓ que le poste d'injection est capable d'isoler le site du réseau de distribution GRDF en cas de défaillance (Partie C).

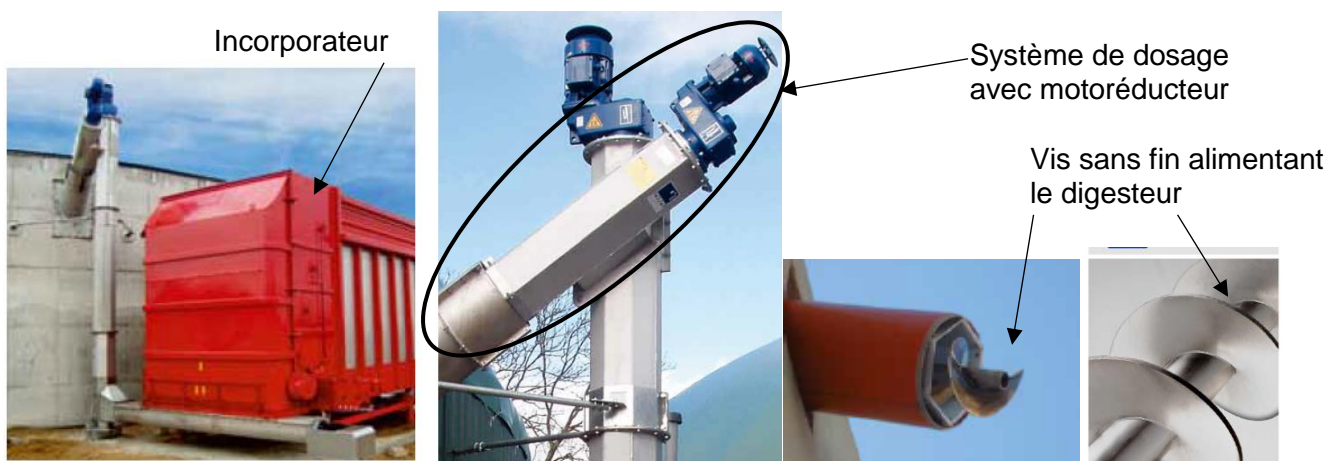
Travail demandé

Partie A – Comment assurer le dosage correct et continu des intrants ?

L'incorporateur de 105 m³ chargé journalièrement par les opérateurs constitue le stockage tampon nécessaire aux besoins journaliers en intrants du digesteur.

Le dosage automatisé est ensuite assuré grâce à un système de motoréducteur sur lequel est installé une vis sans fin. La vitesse d'introduction des intrants est ajustée grâce à un variateur de fréquence qui permet d'assurer un dosage en continu.

La chaîne de puissance du système de dosage est donnée sur le document DTS1.



Question A.1

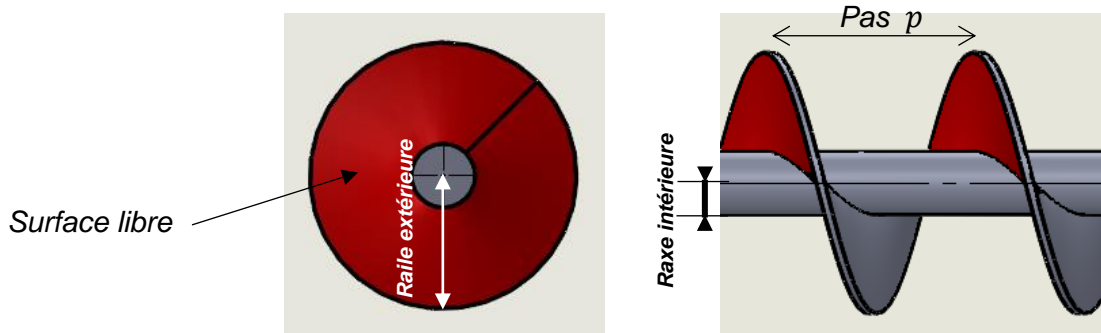
Déterminer la quantité horaire d'intrants à injecter dans le digesteur $V_{horaire}$ à injecter en m³.h⁻¹.

L'axe de sortie du réducteur est fixé à la vis sans fin grâce à une liaison encastrement démontable (accouplement élastique).

Question A.2 | **Calculer** la vitesse de rotation maximum de la vis sans fin $N_{\max VSF}$ en $\text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$.
DTS1

Afin de connaître la vitesse de rotation à imposer, il faut connaître la quantité de matière injectée par la vis pour chaque tour. Elle est obtenue grâce à la formule suivante :

$$Volume_{dosage/tour} (m^3) = Surface\ libre (m^2) \times Pas (m) = \Pi \times (R_{aile\ exterieure}^2 - R_{axe\ interieur}^2) \times p$$



Le pas p correspondant à la distance entre 2 sommets ou creux de l'hélice.

Question A.3 | **Calculer** le volume dosé par tour $V_{dosage/tour}$ en $\text{m}^3\cdot\text{tr}^{-1}$ (ou $\text{mm}^3\cdot\text{tr}^{-1}$) par la vis sans fin.
DTS1, DTS2

On considérera pour la suite que $N_{\max VSF} = 0,35 \text{ tr}\cdot\text{s}^{-1}$ et que le $V_{dosage/tour} = 9\cdot 10^{-3} \text{ m}^3\cdot\text{tr}^{-1}$

Question A.4 | **Calculer** ainsi le débit horaire maximum de la vis sans fin $Q_{\max VSF}$ en $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$.
Conclure si la vis sans fin pourra doser le volume attendu $V_{horaire}$ à injecter.

Partie B – Comment assurer l'acheminement du gaz dans les tuyaux en toute sécurité ?

Le biogaz avant épuration est chargé en hydrogène sulfuré (H_2S) en très faible quantité. C'est un gaz inflammable, incolore, à l'odeur nauséabonde d'œuf pourri, très toxique.

Il est faiblement soluble dans l'eau mais avec la condensation dans les tubulures (tuyaux), il peut donner naissance à l'**acide sulfhydrique** qui est **corrosif**. Le choix des matériaux pour les tubulures est donc primordial.

Le biogaz est acheminé dans notre cas depuis le digesteur et post-digesteur vers l'unité d'épuration grâce à des tubulures enterrées en polymères type polyéthylène « PEHD ».

Les tubulures apparentes (hors sol) sont obligatoirement en métal. Il s'agit ici d'acier inoxydable choisi pour des raisons de sécurité évidentes liées à leur résistance en cas d'explosion à proximité des tubulures.

On peut voir sur le DTS3 que l'acier est de loin le plus onéreux des métaux et alliages.

Question B.1

DTS3

Justifier, en argumentant, le choix d'utiliser l'acier inoxydable au niveau des tubulures apparentes en vous appuyant sur le critère de corrosion uniquement.

Justifier, en argumentant, le choix de matériau retenu pour les tubulures enterrées en vous appuyant à la fois sur le critère de corrosion et le critère de prix.

Les tubulures sont généralement constituées de tubes de cinq à six mètres de long qu'il faut assembler entre eux.

Pour éviter toute fuite au niveau des raccords, l'étanchéité est un point sensible. Il existe différentes solutions pour assurer l'étanchéité statique entre deux éléments (pâte à joint, joints d'étanchéité...).

Question B.2

DTS4

Justifier, en argumentant, le choix retenu d'assembler les tubulures enterrées en PEHD par électrosoudage.

Les tubulures entre le digesteur et le poste d'épuration sont des tubes « PE100 DN 300 ». PE 100 fait référence à la matière (Polyéthylène). « DN 300 » correspond au diamètre du tube :

- ✓ DN : « Diamètre Nominal » désigne le diamètre intérieur d'un tube.
- ✓ 300 : correspond **approximativement** au diamètre intérieur en millimètres (à quelques millimètres près)

Ils sont aussi « PN4 ». Cela signifie qu'ils sont capables de résister à une pression normalisée de 4 bars, valeur suffisante pour supporter les 40 mbars maximum dans les tuyaux.

Les tubulures entre le poste d'épuration et d'injection doivent être « PN16 ». En effet, la pression en sortie du poste d'épuration du fait de la compression du gaz pourra atteindre à terme plus de 10 bars.

Il nous faut donc déterminer l'épaisseur minimale des tubulures pour résister à cette pression.

On précise que la limite élastique du PE100 est de $19,6 \times 10^6$ Pa et, pour éviter tout problème, on prendra un Coefficient de Sécurité « CS » égal à 1,5.

Question B.3

DTS5
DRS1

Compléter, sur le document **DRS1** :

- ✓ les valeurs de contraintes maximum σ_{\max} pour chacune des 3 simulations du DTS5 ;
- ✓ les 3 valeurs de contraintes maximum $\sigma_{\max CS}$ avec prise en compte du coefficient de sécurité en détaillant les calculs ;
- ✓ la valeur de la limite élastique R_e en MPa ;
- ✓ la condition de validité assurant la résistance et si les épaisseurs sont conformes ou non.

Conclure sur le document **DRS1** sur l'épaisseur minimum que devra faire la tubulure.

Le débit au niveau du poste d'injection doit être de $250 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (Normaux $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$). Cette valeur correspond à un débit à pression atmosphérique de 1 bar et une température de 20°C .

Sachant que la pression d'injection est de l'ordre de 9 bars dans notre cas, le débit « réel » à satisfaire est donc de $250 / (9 + 1) = 25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ si l'on néglige l'influence de la température.

Le poste d'injection est instrumenté de manière à mesurer la vitesse du fluide. Elle est dans notre cas de l'ordre de $0,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Question B.4

DRS2
DTS6

Déterminer, par tracé sur le document **DRS2**, le diamètre DN minimal de la tubulure nécessaire au niveau du poste d'injection.

En déduire, en argumentant, la référence du tube adapté à l'aide du DTS6 sachant que l'épaisseur minimum retenue est de 8 mm et que la valeur de SDR est de 11 dans notre cas (pour 16 bars).

Partie C – Comment assurer la protection du poste d'injection en toute circonstance ?

En cas d'arrêt de production, le poste d'injection doit être capable d'isoler le réseau de gaz GRDF du site.

Un clapet de sécurité « CS1 » (ou clapet anti-retour) est installé comme indiqué sur le schéma fluide simplifié ci-dessous.

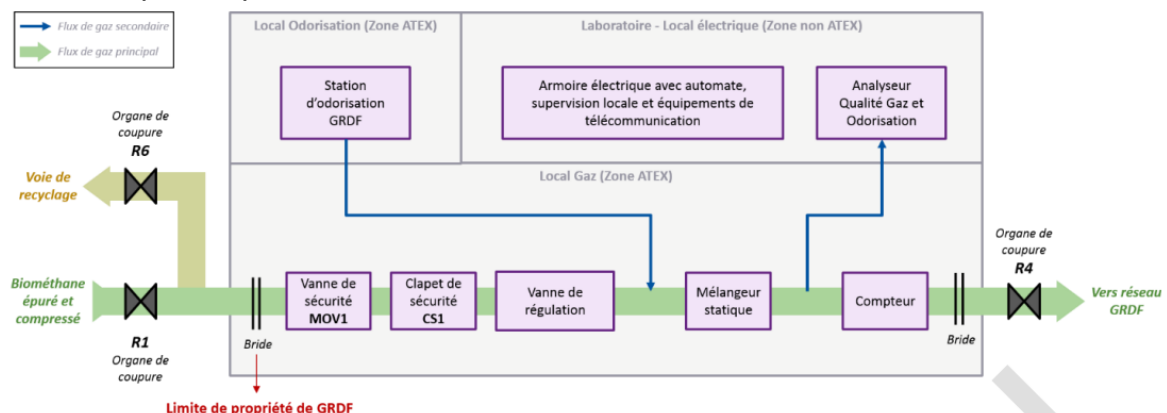
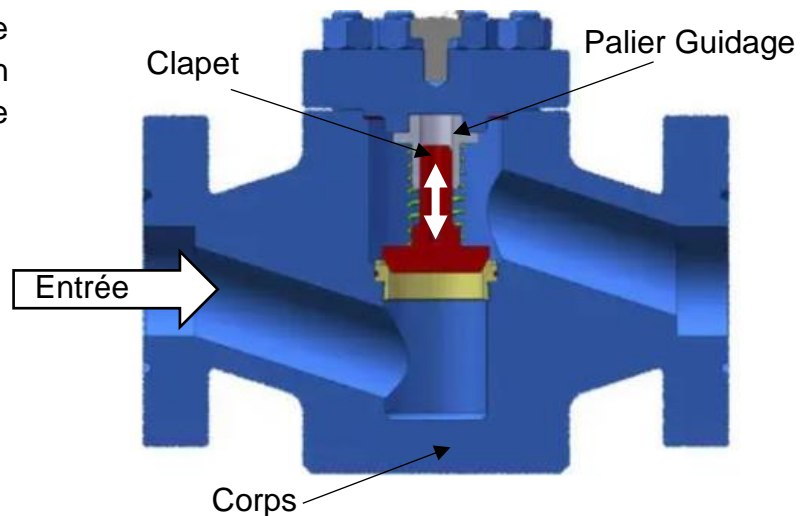


Schéma de l'installation d'injection avec odorisation GRDF

On donne ci-contre un aperçu en coupe du clapet anti-retour retenu : avec un système de rappel par ressort de compression.

On précise que :

- ✓ $\varnothing D = 100 \text{ mm}$
- ✓ $L \text{ nominale ressort} = 100 \text{ mm}$
- ✓ $\varnothing \text{ intérieur ressort mini} = 45 \text{ mm}$
- ✓ Course ressort : 30 mm



Le clapet doit pouvoir être complètement ouvert dès que la pression d'injection dépasse 8 bars (pression minimum d'injection dans le réseau).

On rappelle que : 1 bar = 0,1 MPa (ou $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$)

Question C.1 | **Calculer** l'effort F_{pression} généré sur la surface du piston par la pression d'injection.

Le clapet est guidé en translation par rapport au corps (liaison pivot glissant entre le clapet et le palier de guidage).

Le poids propre du piston, les frottements au niveau de la liaison ainsi que la pression résiduelle en sortie (côté ressort) sont négligés. Le bilan des actions mécaniques appliquées au piston conduit à 2 forces égales et opposées suivant la direction de translation : d'une part la force de pression sur le piston côté entrée et d'autre part la force du ressort.

Le DTS7 recense plusieurs simulations de ressorts avec les forces de rappel maximales qu'ils sont susceptibles de fournir.

Question C.2 | **Déterminer**, en justifiant, les dimensions du ressort le plus adapté dans notre cas (diamètre du fil, nombre de spires et constante de raideur) en considérant que l'effort lié à la pression est de 6 kN.

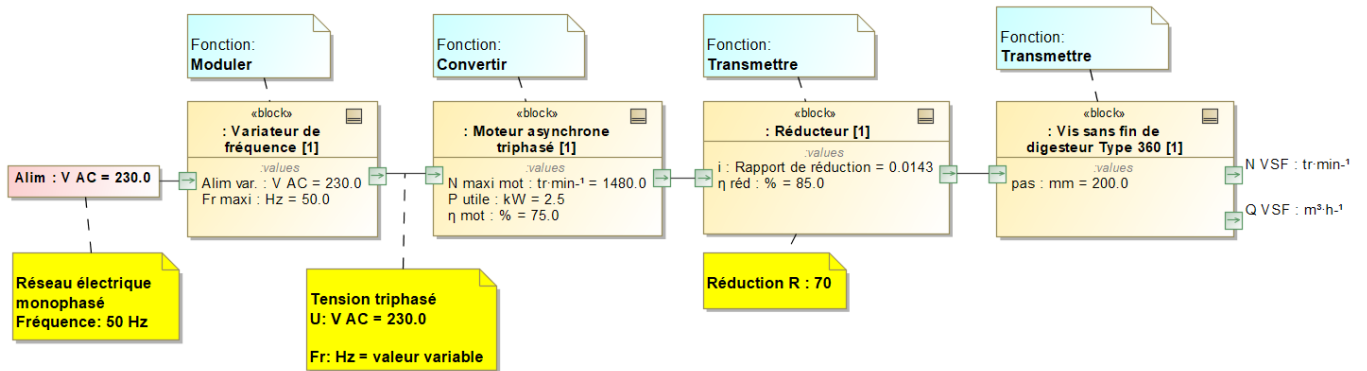
DTS7

NB : il faudra veiller à ce que le ressort retenu permette l'ouverture complète du clapet à cette pression.

Partie D – En quoi les choix retenus au niveau des composants sont-ils capitaux pour l'installation ?

Question D.1 | **Conclure** quant à l'intérêt d'avoir conduit les trois études précédentes pour assurer le bon fonctionnement du méthaniseur.

DTS1 – Chaîne de puissance du système dosage

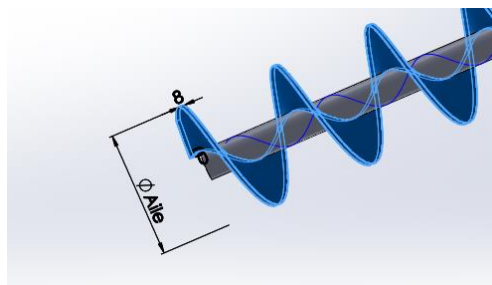
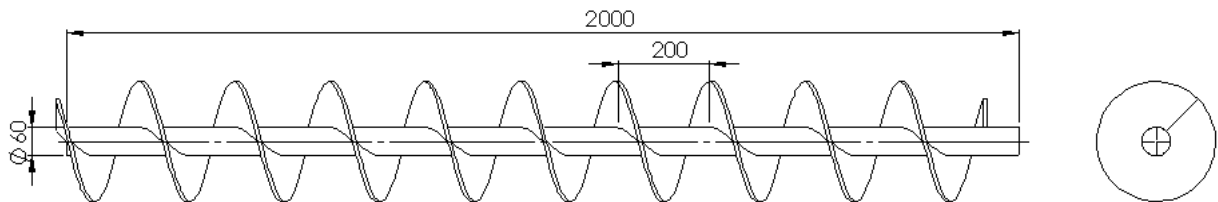


DTS2 – Extrait des caractéristiques « système de dosage à vis sans fin »

Aperçu des variantes de modèles

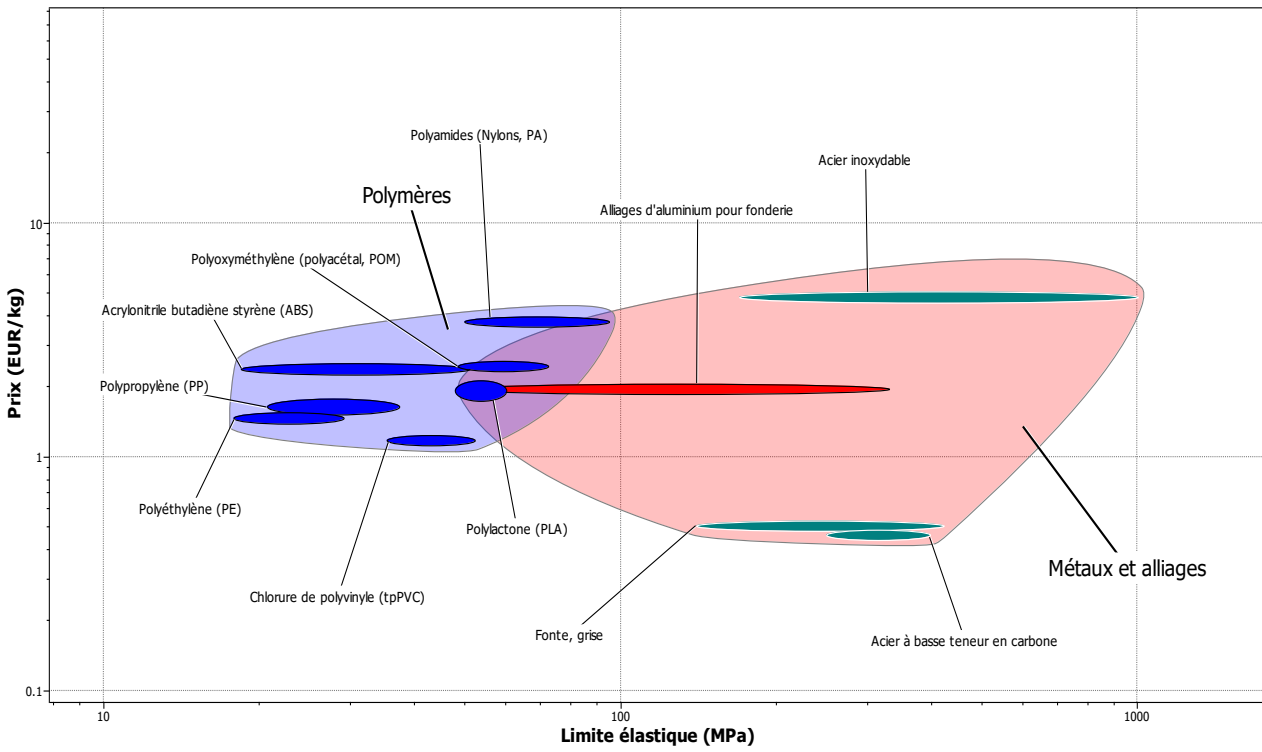
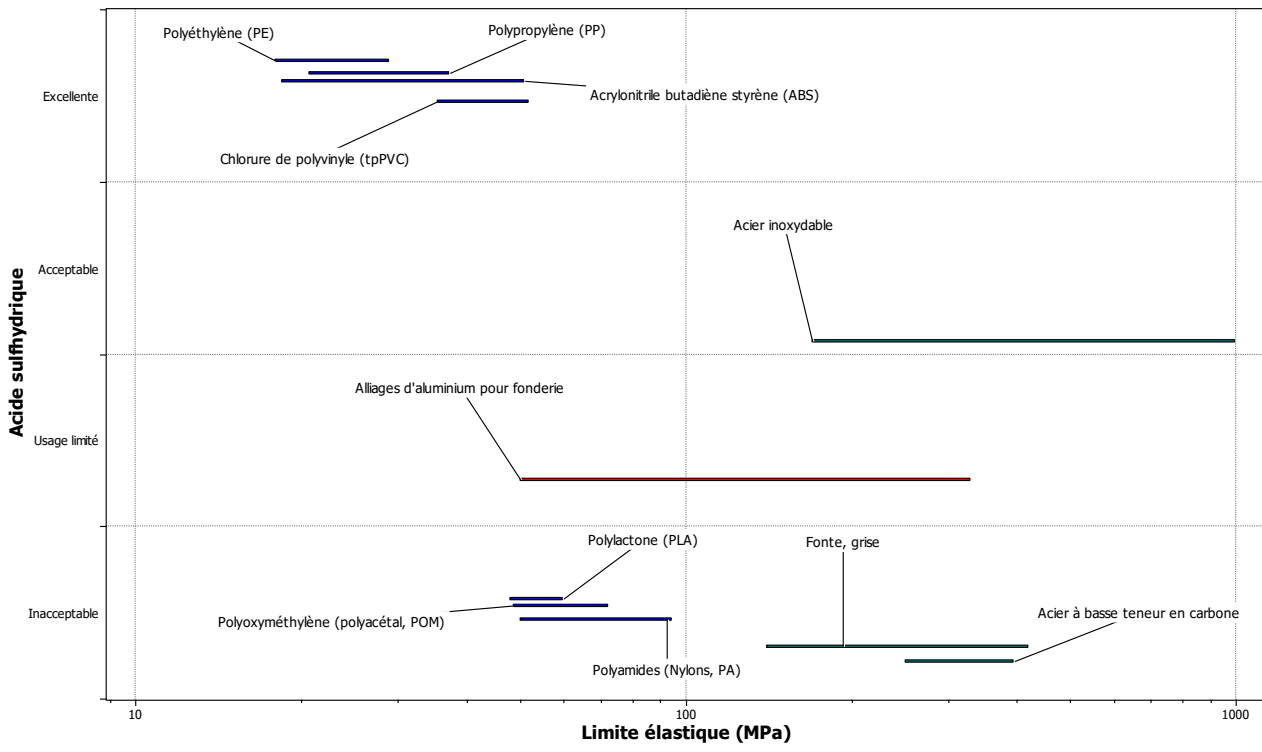
Type	Vis sans fin de sous-construction, type 360	Vis sans fin raide, type 360	Vis sans fin de digesteur, type 360	Vis sans fin de sous-construction, type 450	Vis sans fin raide, type 450	Vis sans fin de digesteur, type 450	Vis sans fin de digesteur, type 600 / 90 degrés	Vis sans fin de digesteur, type 600 / 55 degrés
Ø Aile de vis sans fin (mm)	250	280	250	360	360	360	450	450
Épaisseur du matériau	8	8	8	8	8	8	8	8
Longueur de construction (m)	<5,50	<7,20	<3,50	<4,50	<4,50	<3,50	<3,50	<3,50
Puissance motrice (kW)	3	5	2,5	4	5	3,6	3,6	3,6
Longueur de construction (m)	<8,50	<9,00		<6,00	<8,00			
Puissance motrice (kW)	4	6,8		5,5	6,8			
Matériau V2A	x	x	x	x	x	x	x	x
Zone de gaz V4A			x			x	x	x
Alésage – paroi de digesteur			450			550	700	700

x = équipement de série

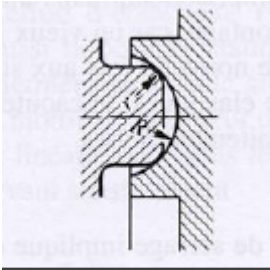






NB : L'épaisseur de l'hélice est de 8 mm

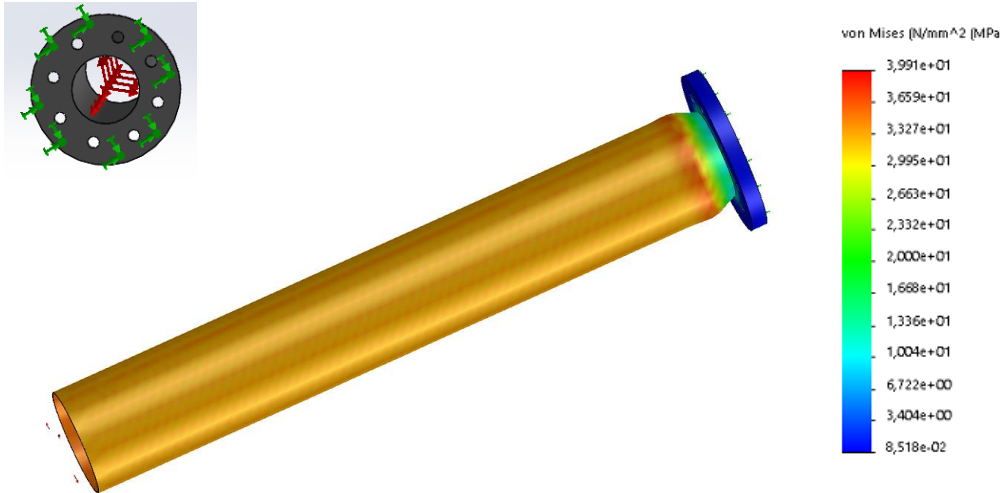
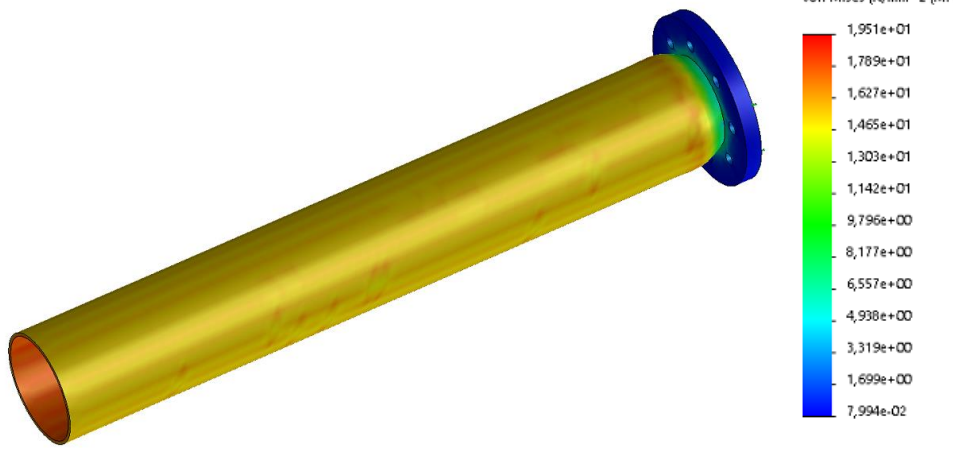
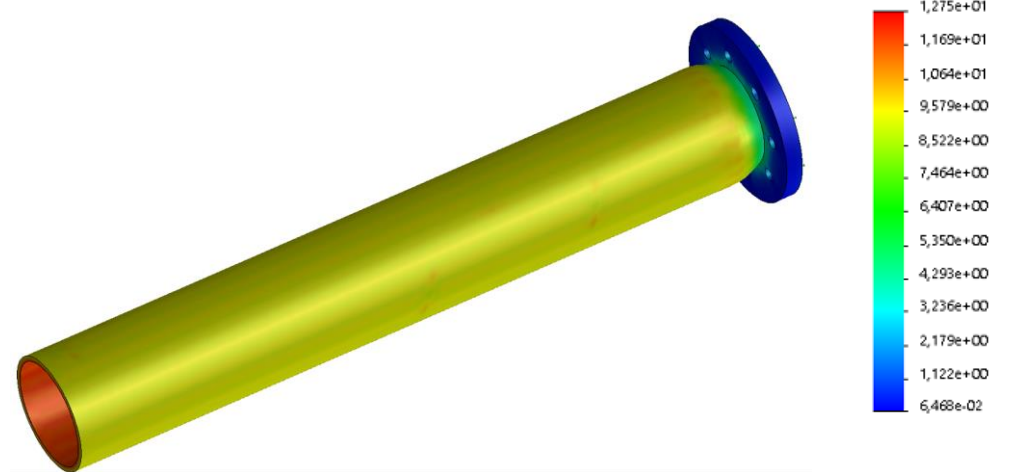
DTS3 – Extrait des caractéristiques mécaniques des matériaux (multicritère)



DTS4 – Comparatif des modes d'assemblage pour une étanchéité de type statique

Etanchéité	Montage	Spécificités
<p>Directe</p>	<p>Surfaces rodées et complémentaires</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Adapté aux matériaux métalliques surtout car l'étanchéité est obtenue grâce à la pression exercée entre les 2 pièces par bridage ; ✓ Mise en œuvre complexe : nécessite des états de surfaces particuliers et/ ou formes particulières ; ✓ Coûteux ; ✓ Nécessite un accès pour intervention (regard de visite si enterré) ; ✓ Étanchéité à contrôler régulièrement (limitée dans le temps) ; ✓ Démontable.
<p>Semi-directe</p>	<p>Pâte à joint</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Adapté à tous les matériaux ; ✓ Mise en œuvre simple et rapide ; ✓ Économique ; ✓ Convient en aérien comme enterré ; ✓ Étanchéité limitée dans le temps du fait de la dégradation possible du joint (notamment lorsqu'il est enterré, température...) ; ✓ Démontable.
<p>Indirecte</p>	<p>Joint d'étanchéité</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Adapté à tous les matériaux ; ✓ Mise en œuvre simple et rapide par pression (bridage) ; ✓ Économique ; ✓ Nécessite un accès pour intervention (regard de visite si enterré) ; ✓ Étanchéité à contrôler régulièrement (limitée dans le temps) ; ✓ Démontable.
<p>Permanente</p>	<p>Soudage</p>  	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Nécessite que les matériaux puissent se souder (éviter la fonte) : <ul style="list-style-type: none"> • Métaux : soudage par poste à souder TIG ou MIG... • Plastique : électrosoudage ✓ Mise en œuvre complexe car nécessite de l'outillage spécifique en fonction du matériau à souder ; ✓ Coûteux ; ✓ Convient en aérien comme enterré ; ✓ Étanchéité garantie sur la durée (plusieurs dizaines d'années) ; ✓ Indémontable.

DTS5 – Simulation RDM pour différentes épaisseurs de tubulure

Tubulure	Résultat de la simulation (sous 16 bars de pression)
Ep = 2.5 mm	 <p style="text-align: right;">von Mises [N/mm² (MPa)]</p> <ul style="list-style-type: none"> 3,991e+01 3,659e+01 3,327e+01 2,995e+01 2,663e+01 2,332e+01 2,000e+01 1,668e+01 1,336e+01 1,004e+01 6,722e+00 3,404e+00 8,518e-02
Ep = 5 mm	 <p style="text-align: right;">von Mises [N/mm² (MPa)]</p> <ul style="list-style-type: none"> 1,951e+01 1,789e+01 1,627e+01 1,465e+01 1,303e+01 1,142e+01 9,796e+00 8,177e+00 6,557e+00 4,938e+00 3,319e+00 1,699e+00 7,994e-02
Ep = 7.5 mm	 <p style="text-align: right;">von Mises [N/mm² (MPa)]</p> <ul style="list-style-type: none"> 1,275e+01 1,169e+01 1,064e+01 9,579e+00 8,522e+00 7,464e+00 6,407e+00 5,350e+00 4,293e+00 3,236e+00 2,179e+00 1,122e+00 6,468e-02

DTS6 – Extrait du catalogue des tubulures PE 100 spécial ATEX « SIMONA »



PE Tubes de pression électro conducteur

12 Bouton Produits ▲

Informations

Comparer

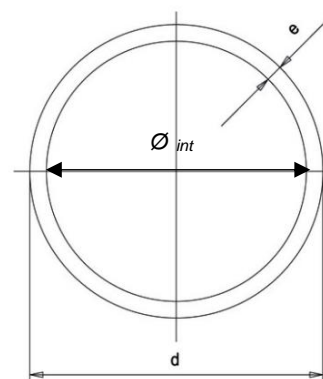
<input type="checkbox"/>	Matériau	SDR ▲	d (mm)	e (mm)	Poids (kg/m)	Longueur (m)	Référence d'article
<input type="checkbox"/>	PE-EL	11	63	5.8	1.160	5	010000353
<input type="checkbox"/>	PE-EL	11	75	6.8	1.620	5	010001693
<input type="checkbox"/>	PE-EL	11	90	8.2	2.350	5	010000356
<input type="checkbox"/>	PE-EL	11	110	10.0	3.480	5	010000358
<input type="checkbox"/>	PE-EL	11	125	11.4	4.510	5	010000360
<input type="checkbox"/>	PE-EL	11	140	12.7	5.620	5	010001694
<input type="checkbox"/>	PE-EL	17,6	63	3.6	0.760	5	010000352
<input type="checkbox"/>	PE-EL	17,6	75	4.3	1.080	5	010001121
<input type="checkbox"/>	PE-EL	17,6	90	5.1	1.530	5	010000355
<input type="checkbox"/>	PE-EL	17,6	110	6.3	2.300	5	010000357
<input type="checkbox"/>	PE-EL	17,6	125	7.1	2.940	5	010000359
<input type="checkbox"/>	PE-EL	17,6	140	8.0	3.690	5	010000361

Le **Standard Dimension Ratio (SDR)** est le rapport entre le diamètre extérieur d'un tube « d » et l'épaisseur de sa paroi « e ».

« SDR 11 » signifie que le diamètre du tube est 11 fois supérieur à l'épaisseur de sa paroi.

Un grand SDR indique une paroi fine pour un tube donné, donc moins robuste en pression. Un faible SDR indique une paroi épaisse, donc plus robuste en pression.

La valeur du SDR d'un tube correspond à une pression nominale supportée en **Bars**, quel que soit le diamètre du tube.



$$\varnothing_{int} = d - 2e$$

SDR	PN- Pression Nominale	
	PE 80	PE 100
41	3,2	4
33	4	5
26	5	6,3
17,6	7,5	9,6
17	8	10
11	12,5	16
7,4	20	25

Ex : un tube PE 100 avec un SDR de 17.6 supporte une pression de 9.6 bars

DTS7 – Résultats de simulation en fonction des dimensions du ressort

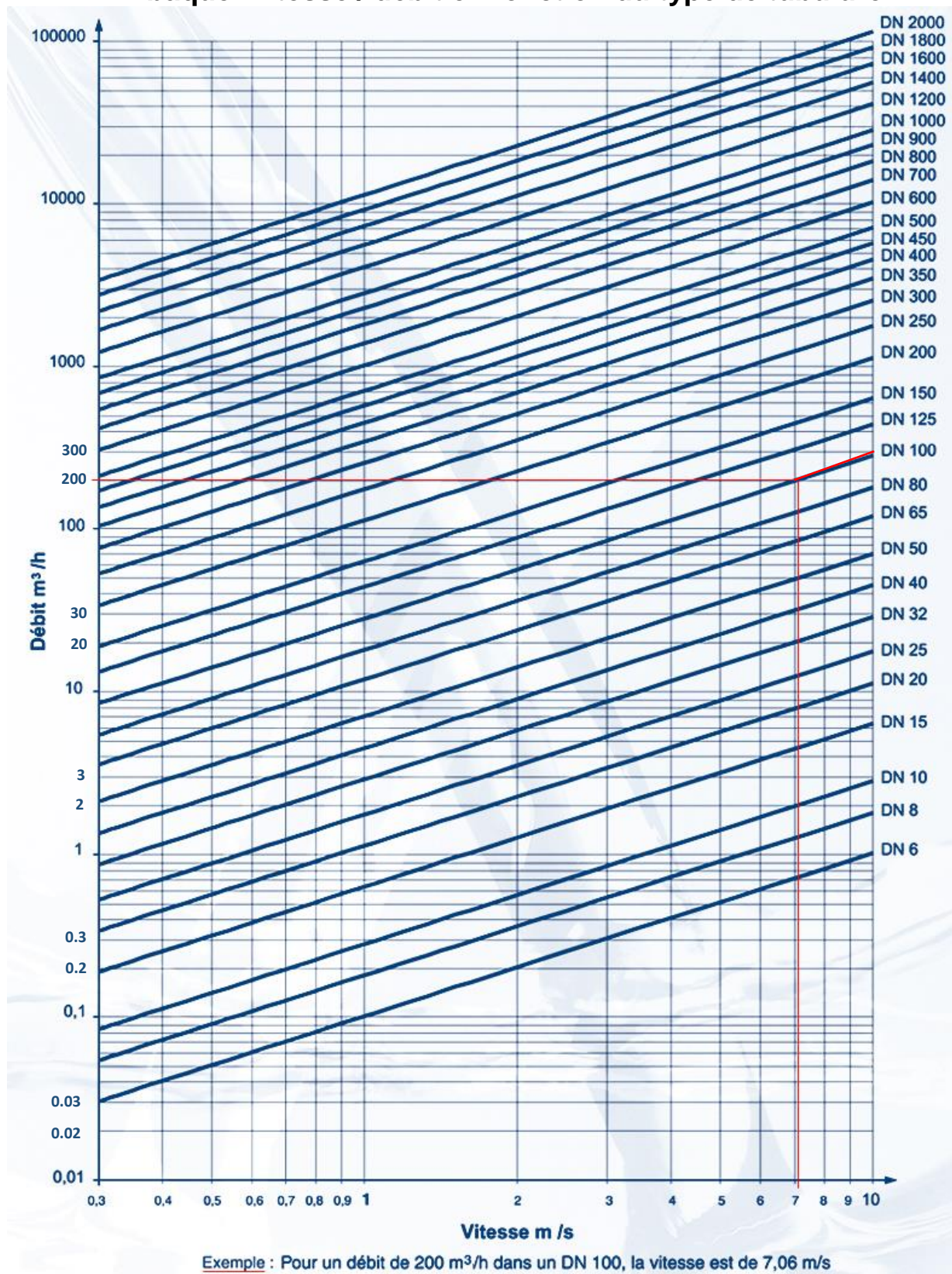
Simulation N°1			Simulation N°2		
Diamètre du fil	<input type="text" value="10"/>	mm	Diamètre du fil	<input type="text" value="12"/>	mm
Nombre de spire totales	<input type="text" value="10"/>	#	Nombre de spire totales	<input type="text" value="10"/>	#
Diametre interieur	<input type="text" value="40"/>	mm	Diametre interieur	<input type="text" value="40"/>	mm
Diametre exterieur	<input type="text" value="70"/>	mm	Diametre exterieur	<input type="text" value="64"/>	mm
Course maxi	<input type="text" value="30"/>	mm	Course maxi	<input type="text" value="30"/>	mm
	<input type="button" value="Calculer"/>			<input type="button" value="Calculer"/>	
Raideur du ressort	<input type="text" value="70.212"/>	N/mm	Raideur du ressort	<input type="text" value="172.272"/>	N/mm
Force maximale	<input type="text" value="2081.584"/>	N	Force maximale	<input type="text" value="5107.366"/>	N
Simulation N°3			Simulation N°4		
Diamètre du fil	<input type="text" value="14"/>	mm	Diamètre du fil	<input type="text" value="7"/>	mm
Nombre de spire totales	<input type="text" value="13"/>	#	Nombre de spire totales	<input type="text" value="8"/>	#
Diametre interieur	<input type="text" value="40"/>	mm	Diametre interieur	<input type="text" value="50"/>	mm
Diametre exterieur	<input type="text" value="68"/>	mm	Diametre exterieur	<input type="text" value="64"/>	mm
Course maxi	<input type="text" value="30"/>	mm	Course maxi	<input type="text" value="30"/>	mm
	<input type="button" value="Calculer"/>			<input type="button" value="Calculer"/>	
Raideur du ressort	<input type="text" value="209.993"/>	N/mm	Raideur du ressort	<input type="text" value="19.878"/>	N/mm
Force maximale	<input type="text" value="6245.022"/>	N	Force maximale	<input type="text" value="587.158"/>	N
Simulation N°5			Simulation N°6		
Diamètre du fil	<input type="text" value="12"/>	mm	Diamètre du fil	<input type="text" value="13"/>	mm
Nombre de spire totales	<input type="text" value="7"/>	#	Nombre de spire totales	<input type="text" value="7"/>	#
Diametre interieur	<input type="text" value="50"/>	mm	Diametre interieur	<input type="text" value="50"/>	mm
Diametre exterieur	<input type="text" value="64"/>	mm	Diametre exterieur	<input type="text" value="76"/>	mm
Course maxi	<input type="text" value="30"/>	mm	Course maxi	<input type="text" value="30"/>	mm
	<input type="button" value="Calculer"/>			<input type="button" value="Calculer"/>	
Raideur du ressort	<input type="text" value="203.463"/>	N/mm	Raideur du ressort	<input type="text" value="207.557"/>	N/mm
Force maximale	<input type="text" value="5992.922"/>	N	Force maximale	<input type="text" value="6113.501"/>	N

DOCUMENT RÉPONSES DRS1**Choix de l'épaisseur minimum de la tubulure en PE 100**

	Tubulures		
	Ep = 2.5 mm	Ep = 5 mm	Ep = 7.5 mm
Contrainte σ_{\max} simulation (MPa)			
Contrainte max admissible avec coefficient de sécurité $\sigma_{\max CS}$ (MPa)			
Re (MPa)			
Condition de validité			
Validité	<input type="checkbox"/> Conforme <input type="checkbox"/> Non Conforme	<input type="checkbox"/> Conforme <input type="checkbox"/> Non Conforme	<input type="checkbox"/> Conforme <input type="checkbox"/> Non Conforme

Conclusion :

Abaque Vitesse / débit en fonction du type de tubulure



Diamètre « DN » retenu :

PARTIE SPÉCIFIQUE (8 points)

SYSTÈMES D'INFORMATION ET NUMÉRIQUE

MÉTHANISEUR AGRICOLE



Constitution du sujet :

- Dossier sujet et questionnaire Pages 22 à 24
- Dossier technique..... Pages 25 à 29
- Documents réponses (à rendre avec la copie).....Pages 30 à 32

Mise en situation

Pour des raisons de sécurité et de rentabilité, il est important de pouvoir surveiller et gérer ce méthaniseur agricole à distance.

Le site est donc équipé d'une gestion technique des bâtiments (GTB) qui permet à un opérateur distant d'être informé en temps réel sur les grandeurs physiques (températures...) liées au bon fonctionnement du méthaniseur et d'être alerté en cas de problème.

Dans un tel système, il est donc essentiel de disposer de moyens de communication fiables et performants.

L'étude qui suit nous permettra de valider la possibilité de gérer à distance le méthaniseur agricole.

Travail demandé

Partie A – Valider la surveillance du site par un opérateur distant

Pour assurer le bon fonctionnement du méthaniseur agricole, il est nécessaire de surveiller plusieurs grandeurs physiques en différents points :

- température ;
- pression ;
- ...

La température dans le digesteur est une grandeur physique essentielle à son bon fonctionnement. Elle nécessite d'être contrôlée en permanence avec une précision de 0,1 °C.

- | | |
|----------------------|--|
| Question A.1
DTS1 | À l'aide du document technique DTS1, choisir un capteur permettant d'acquérir la température dans le digesteur et justifier votre choix. |
| Question A.2
DRS1 | Compléter les cadres étiquettes vides de la chaîne d'information du DRS1 avec les termes suivants :

« Capteur de température » - « Convertisseur Analogique Numérique » -
« Signal analogique » - « Signal numérique » - « Téléphone » - « ADSL » |
| Question A.3
DTS2 | À l'aide du document DTS2, citer 2 grandeurs physiques avec leurs unités qui peuvent être observées à distance par un opérateur. |
| Question A.4 | Conclure sur la possibilité de surveiller à distance les différentes grandeurs physiques permettant un bon fonctionnement du système. |

Partie B – Valider la possibilité d’alerter l’opérateur

Pour assurer la sécurité du site, il est essentiel de pouvoir gérer différentes situations en cas d’anomalie identifiée sur les grandeurs physiques relevées.

L’algorithme ci-dessous décrit le fonctionnement du système d’alerte :

début de la fonction alerter

```
si valeur > seuil 1 faire
    déclencher les alarmes
    afficher la valeur en rouge clignotant
    envoyer un SMS à l’opérateur
sinon
    si valeur > seuil 2 faire
        afficher la valeur en rouge
        envoyer un SMS à l’opérateur
    sinon
        afficher toutes les valeurs en noir
    finsi
finsi
si acquittement = 1 faire
    extinction des alarmes
    afficher toutes les valeurs en noir
finsi
```

fin de la fonction alerter

Question B.1 | Compléter l’algorithme du document réponses DRS2.

DRS2

Question B.2 | Compléter le programme du document réponses DRS3.

DRS3

Question B.3 | Conclure sur la possibilité de gérer différentes situations de fonctionnement (normal, alarme niveau 1,...) à l’aide d’un système automatisé.

Partie C – Valider la communication entre GRDF et le méthaniseur

Pour assurer la sécurité d’approvisionnement en gaz, il est nécessaire que le producteur (méthaniseur) et Gaz Réseau Distribution France (GRDF) communiquent afin d’injecter plus ou moins de gaz sur le réseau suivant les besoins.

Le système de l’exploitant communique en temps réel avec GRDF via un système automatisé utilisant un protocole de communication reconnu.

Pour information : le terme xDSL est un terme générique qui englobe toutes les technologies DSL (ADSL, SDSL, VDSL,...).

Question C.1 | À l'aide du document technique DTS3, **citer** les deux moyens retenus pour assurer la connexion internet.

DTS3

Pourquoi est-il nécessaire de prévoir deux connexions ?

Question C.2 | À l'aide du document DTS4, **citer** le protocole de communication qui est retenu pour assurer la communication entre le producteur et GRDF.

DTS4

Question C.3 | En vous aidant du document DTS5, **expliquer** pourquoi le Modbus est un protocole de communication « *half duplex* ».

DTS5

Sur le site du méthaniseur, le système est paramétré de la manière suivante :

- Débit : 9600 bit.s⁻¹
- Format d'un caractère : 11 bits

Question C.4 | En vous aidant du document technique DTS5 :

DTS5

Calculer la durée minimale entre 2 trames.

Calculer la durée maximale d'une trame Modbus RTU.

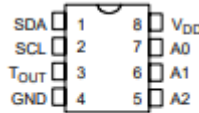
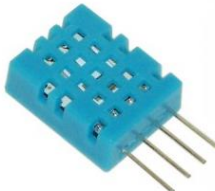

Question C.5 | **Comparer** les résultats précédents avec la réactivité d'un homme qui est d'environ 1 seconde et **justifier** l'automatisation du système.

Question C.6 | **Conclure** sur le système de communication utilisé entre GRDF et le méthaniseur.

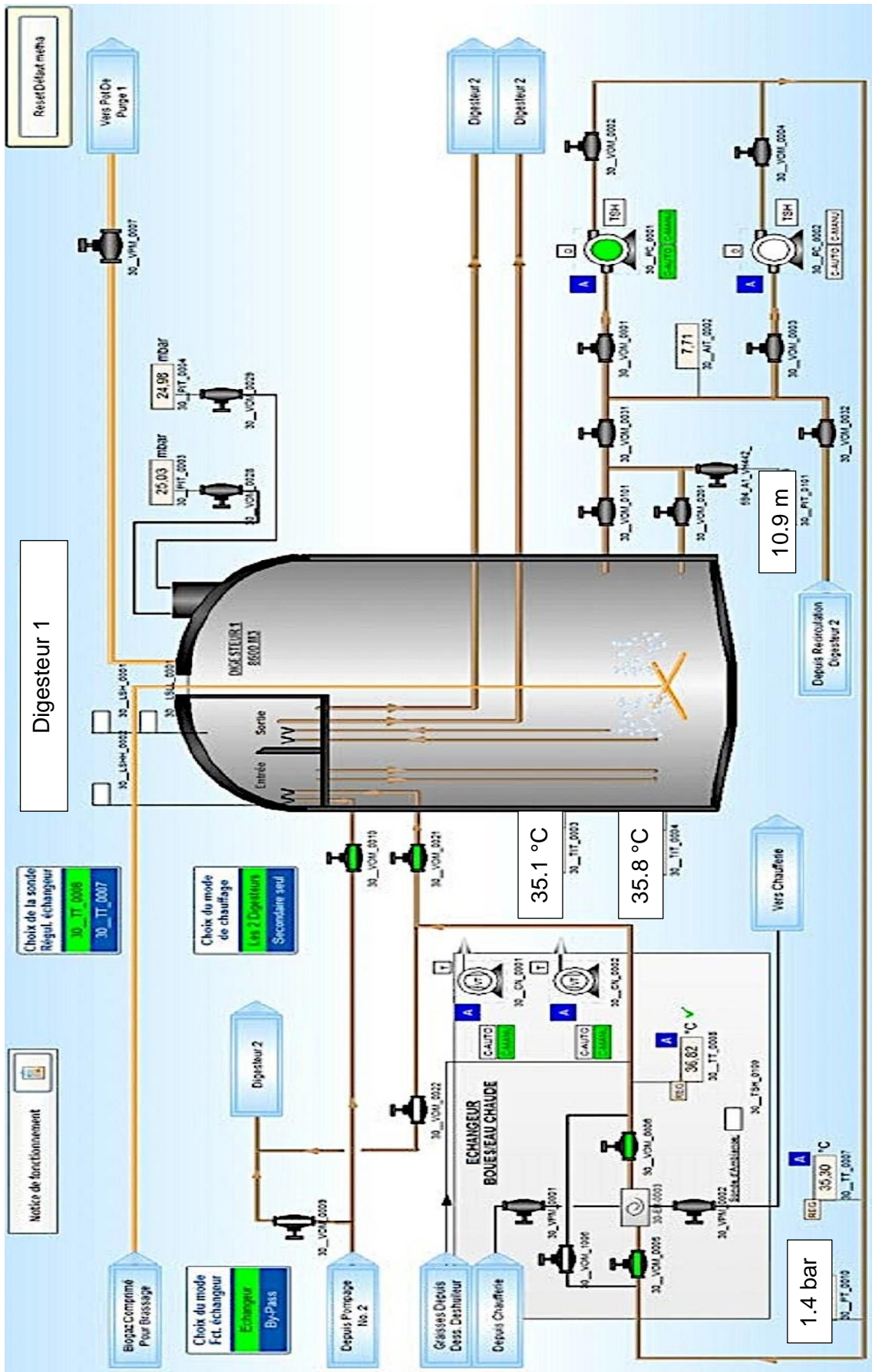
Partie D – Synthèse

Question D.1 | En vous aidant des travaux réalisés, **conclure** sur la possibilité de gérer un méthaniseur à distance.

DTS1 – Caractéristiques de différents capteurs de température

DS1621	<ul style="list-style-type: none"> • Plage de mesures : -55 à +125 °C • Sortie de données : série à 3 fils (DS1620), bus I²C série à 2 fils (DS1621) • Temps de conversion (maximum) : 750 ms • Alimentation : +2,7 V à +5,5 V c.c. • Précision : ± 2 °C 	 <p>DS1621 8-PIN DIP (300 MIL) See Mech. Drawings Section</p>
DHT11	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentation : 3 à 5 Vcc • Consommation maxi : 2,5 mA • Plage de mesure : <ul style="list-style-type: none"> - Température : 0 à +50 °C - Humidité : 20 à 100 % HR • Précision : <ul style="list-style-type: none"> - Température : ± 2 °C - Humidité : ± 5 % HR • Dimensions: 16 x 12 x 7 mm 	
PT-100	<ul style="list-style-type: none"> • Configuration 3 fils • Élément sensible platine 100 Ω selon norme NF EN 60751 classe B • Gaine inox 316L diamètre 3 ou 6 mm • Longueur 150 à 1000 mm (longueur utile, sous le raccord de tête) • Domaine de température -75°C +250°C • Tête étanche légère en alu, IP67, température maxi pour la tête : 135°C • Précision 0,1°C 	

DTS2 – Écran de contrôle de l'opérateur (capture d'écran)



Les connexions

Détails

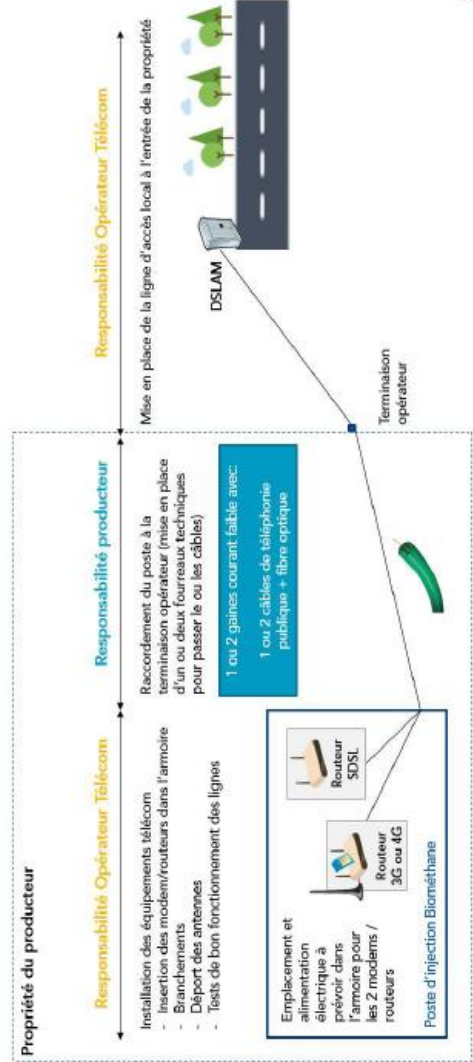
• Connexion internet :

Le producteur met à disposition :

- une ligne XDSL secouru 3G.
- un ou deux fourreaux techniques avec aiguilles de tirage (1 ou 2 gaines courant faible) entre la terminaison opérateur et le poste d'injection avec :

- Âme : Cuivre nu massif \varnothing 0,6 mm
- Marquage : PTT 92 NF C 93-526
- Nombre de conducteurs : 2 paires
- Section : 0,6mm
- Couleur de la gaine : Noir
- Tension : 100V
- Plage de température de : -10°C à $+70^{\circ}\text{C}$
- Diamètre extérieur (mm) : 6,3
- Isolation : Polyéthylène
- Gaine externe : Polyéthylène haute densité, noir, contenant $2,5\% \pm 0,5$ de noir de carbone selon EN 50290-2-24 et NF C 32-060

La pérennité du cuivre étant limitée pour la communication télécom, une fibre optique peut être installée en plus du cuivre (cependant maintenir l'aiguille de tirage).





Les connexions

• Liaison Modbus :

GRDF met à disposition les informations d'injection à travers une liaison Modbus. L'installation coté GRDF sera esclave de l'échange donc l'installation du producteur sera maître de cette liaison.

L'installation du producteur (Automate ou IHM ou autres) communique avec le RTU (Remote Terminal Unit) en communication Modbus RTU Esclave en RS 485 (2 fils). Le câble de liaison exigé est un multipaire-blindé (0.75-1 mm² SUB_D9). Il sera demandé deux paires supplémentaires de disponible non utilisées.

Alimentation électrique de l'Installation d'Injection :

Une alimentation en 230V, monophasée, est nécessaire. Un câble d'alimentation au moins de type 3G10 en rigide pour une longueur maximale de 50m environ.

Onduleur :

En cas de microcoupure, l'Installation d'Injection se met systématiquement en défaut, ce qui ferme automatiquement la vanne d'injection, et nécessite une intervention des équipes de GRDF sur le terrain. La reprise de l'Injection se fait lorsque la qualité du Biométhane est conforme.

GRDF prend à sa charge l'installation d'un onduleur dans le poste d'injection. Il est dimensionné pour maintenir l'alimentation des éléments électriques nécessaires à l'injection pendant quelques minutes.

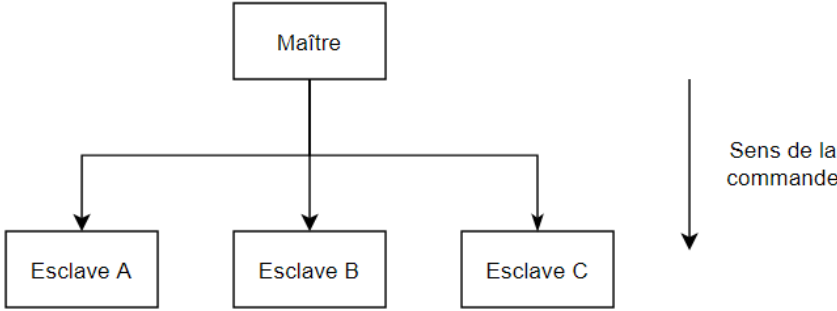
DTS5 – Le protocole Modbus

Modbus est un protocole de communication reposant sur une structure maître-esclave.

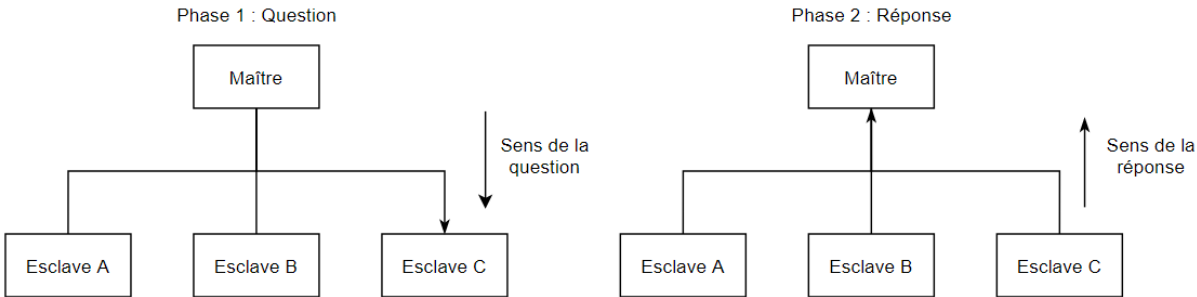
La transmission est bidirectionnelle, mais pas simultanément, c'est-à-dire que 2 systèmes ne peuvent pas envoyer de message en même temps, sinon il y a collision.

Voici 2 cas de figure :

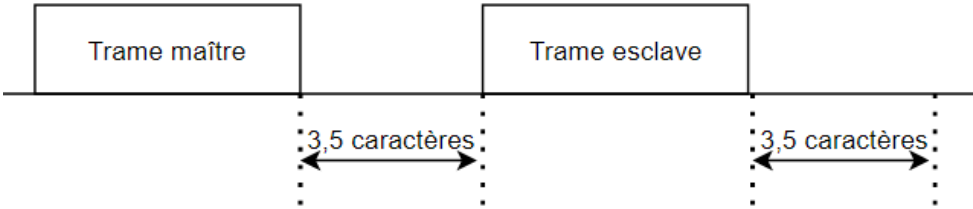
- Le maître envoie une commande



- Le maître envoie une question et attend une réponse



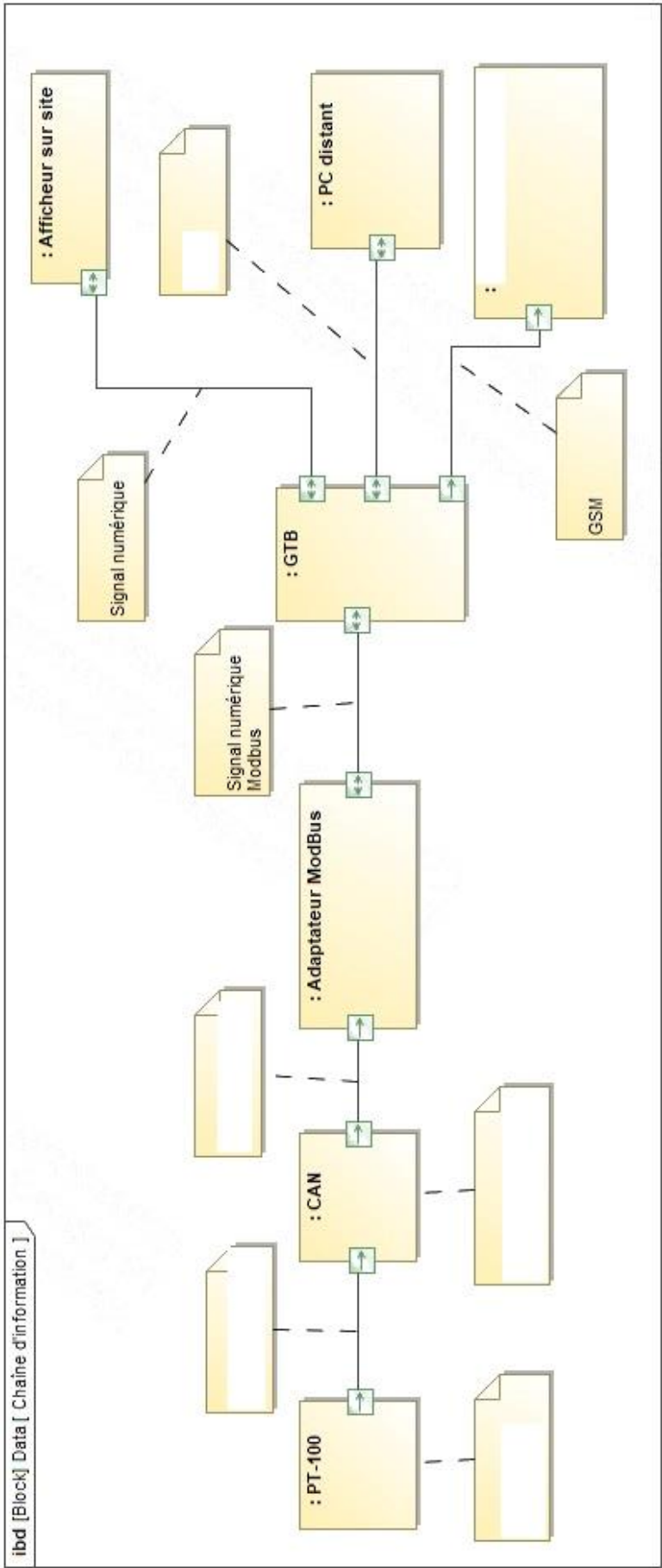
Entre chaque trame, il y a un silence équivalent au minimum à 3,5 fois le temps de transmission d'un caractère.

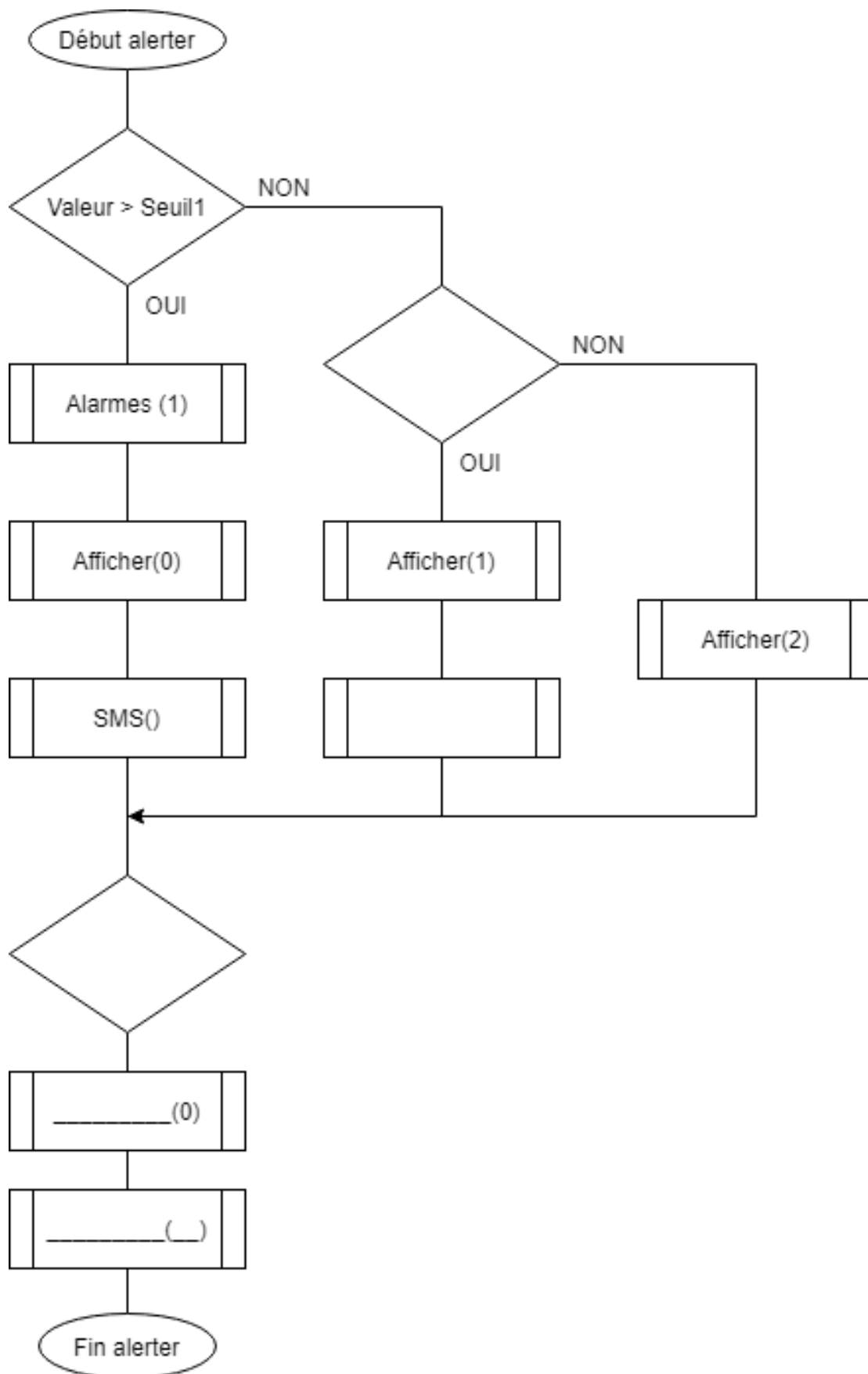


Une trame du Modbus RTU est constituée de la manière suivante :

Adresse esclave	Code fonction	Data	CRC
1 octet	1 octet	N octets	2 octets

La taille maximale des données est de 256 octets.






```
1  if (valeur>seuil1)
2  {
3
4  _____
5  _____
6  }
7  else if (valeur>seuil2)
8  {
9
10 _____
11 _____
11 }
12 else
13
14 _____
15 _____
16 if (acquittement==1)
17 {
18     alarmes(0);
19     afficher(__);
20 }
21
```