Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV©

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
www.formav.co/explorer

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2022

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable
Énergies et Environnement

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 collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 34 pages numérotées de 1/34 à 34/34.

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



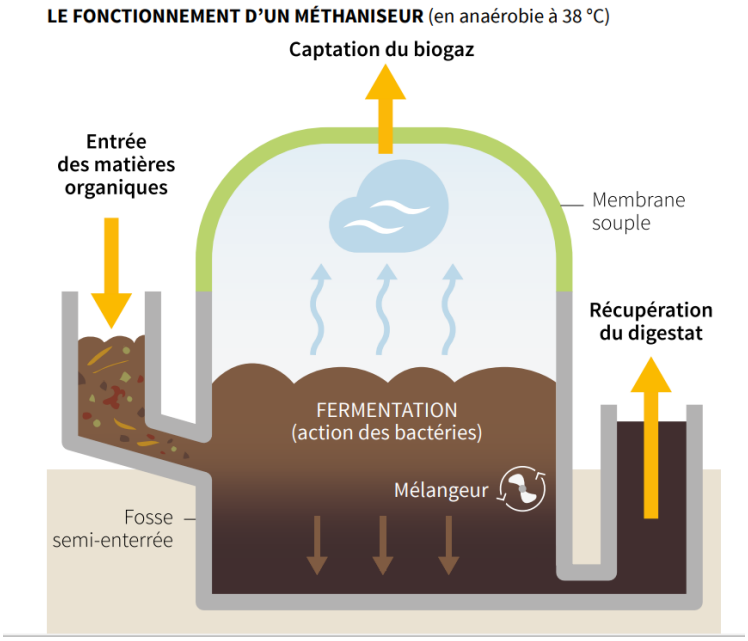
- **Présentation de l'étude et questionnement**..... pages 3 à 8
- **Documents techniques**..... pages 9 à 17
- **Documents réponses (à rendre avec la copie)**..... pages 18 à 20

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 anaérobique) 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 CO_2 / kWh par rapport à une production de gaz conventionnelle.

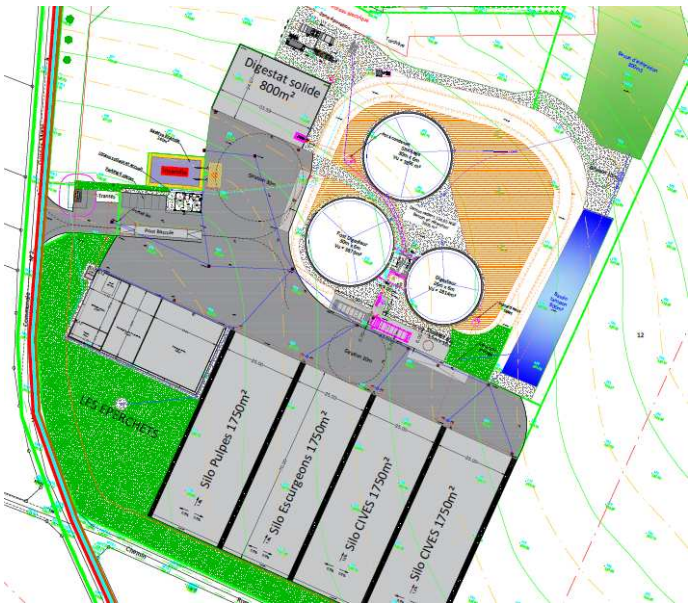
Question 1.5 | **Calculer** le nombre de tonnes d'émission de CO_2 ainsi évité chaque année en France en considérant une production de gaz équivalente à $21x10^9$ kWh à l'horizon 2030.

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 DT6	**Justifier** le choix retenu de s'orienter vers une décomposition mésophile en se limitant au point de vue énergétique.
Question 2.3 DT8 DR2	**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. **Conclure** quant aux choix qui ont été retenus pour les valeurs de ces 2 paramètres pour notre installation.
Question 2.4 DT7	**Expliquer** le choix retenu de s'orienter vers l'injection de biométhane sur le réseau en valorisation finale, plutôt que la cogénération.

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 DT9, DT10	**Identifier** le type d'agriculture prépondérante en Picardie (région Hauts-de-France). **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 $kg \cdot m^{-3}$.

Question 3.2 DT8, DT11	**Calculer** le tonnage journalier en intrants solides à stocker dans l'incorporateur. **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 $Nm^3 \cdot h^{-1}$ (un normaux mètre cube par heure, noté $Nm^3 \cdot h^{-1}$, correspond au débit en mètre cube par heure pour une température et une pression normalisée).

Question 3.3
DT12

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

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

Question 3.4
DT12

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

On considérera, pour la suite, que le débit de biométhane assuré est de 250 $Nm^3 \cdot h^{-1}$ (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
DT8

Calculer le volume annuel de biométhane produit en Nm^3 compte tenu du temps de fonctionnement effectif de l'installation précisé sur le 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
DT12

Relever le pourcentage d'autoconsommation pour le chauffage dans notre cas.

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
DT8

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 $W_{épuration\ et\ injection}$ compte tenu du temps effectif de fonctionnement de l'installation.

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 :

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

Question 3.8
DT13

Déterminer, à l'aide du DT13, le rendement global de notre installation.

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.

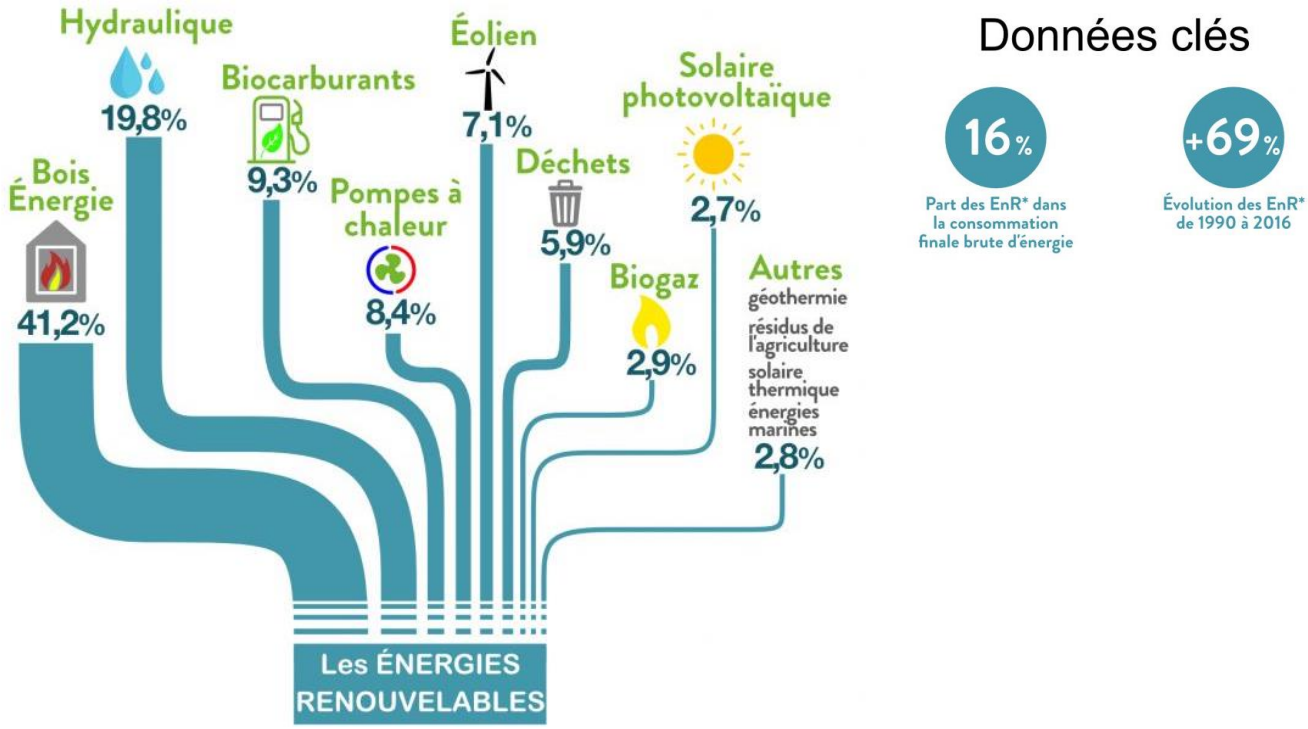
Il faut stocker sur une période plus ou moins longue les digestats solides et liquides sur site ou sur des sites déportés : hangars agricoles pour le digestat solide ou lagunes de stockage pour le digestat liquide.

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.

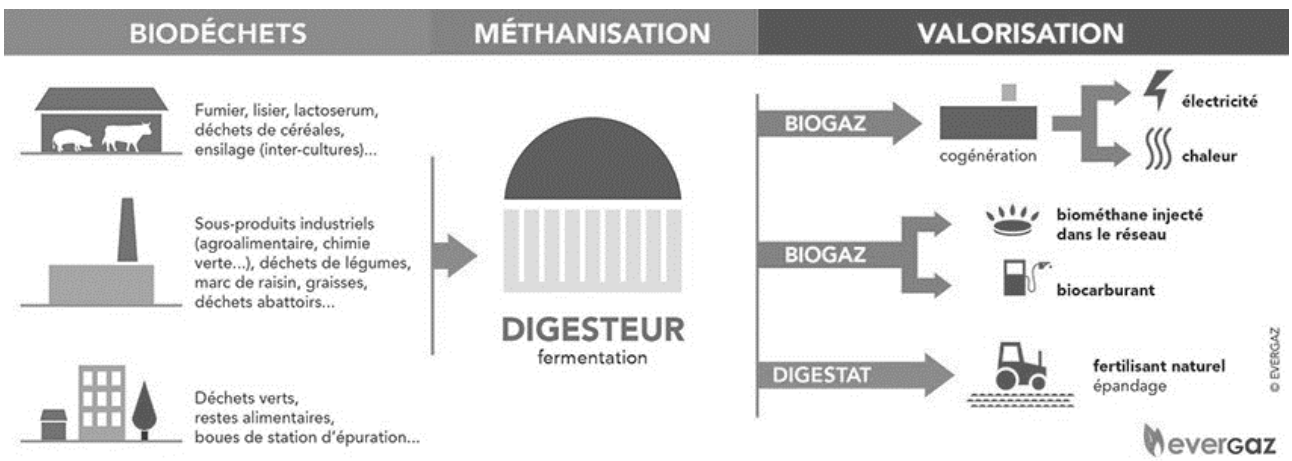
Partie 5 – Comment intégrer le méthaniseur dans l'environnement de proximité des usagers ?

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.

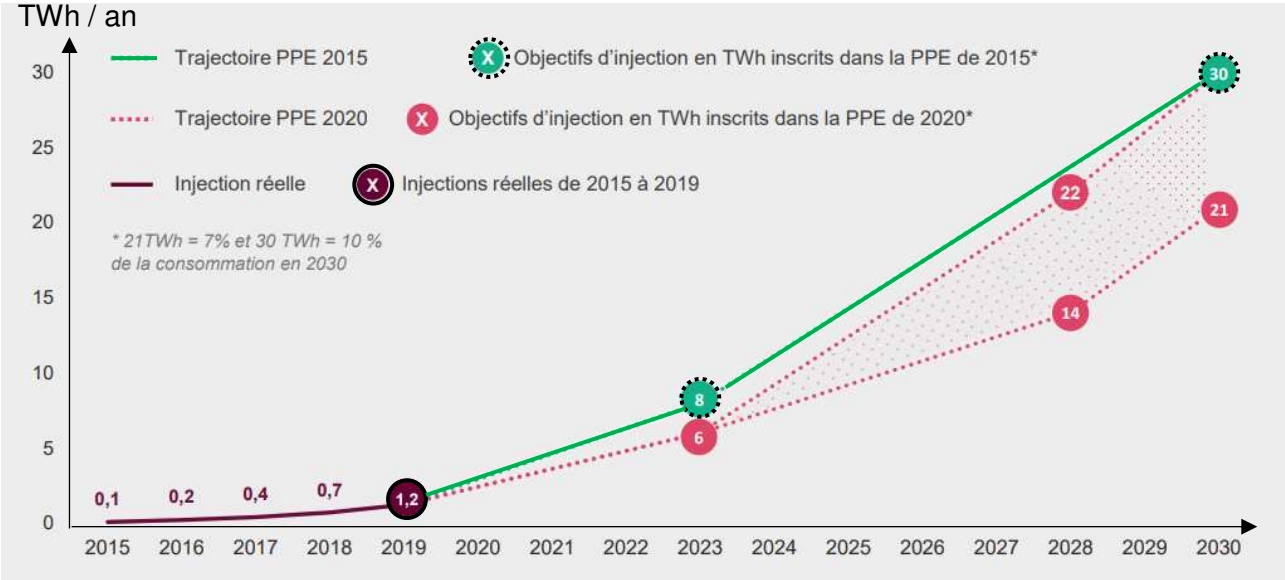
DT1 – Part des Énergies Renouvelable (EnR) en 2018 en France



DT2 – Schéma de principe de la méthanisation

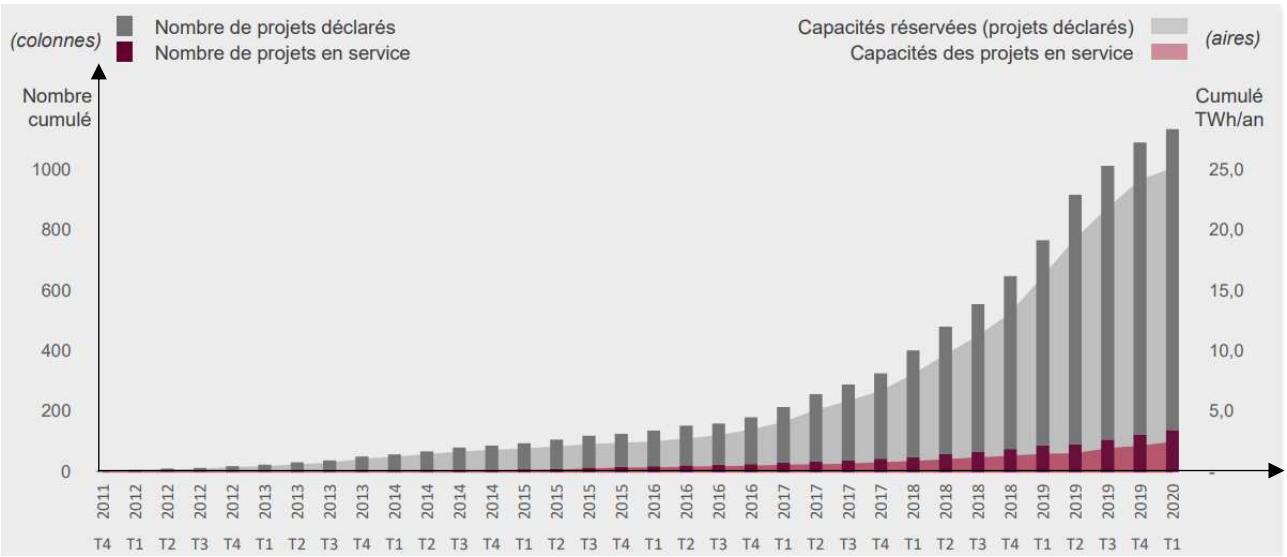


DT3 – Objectifs révisés issus de la Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE) publiés en Avril 2020



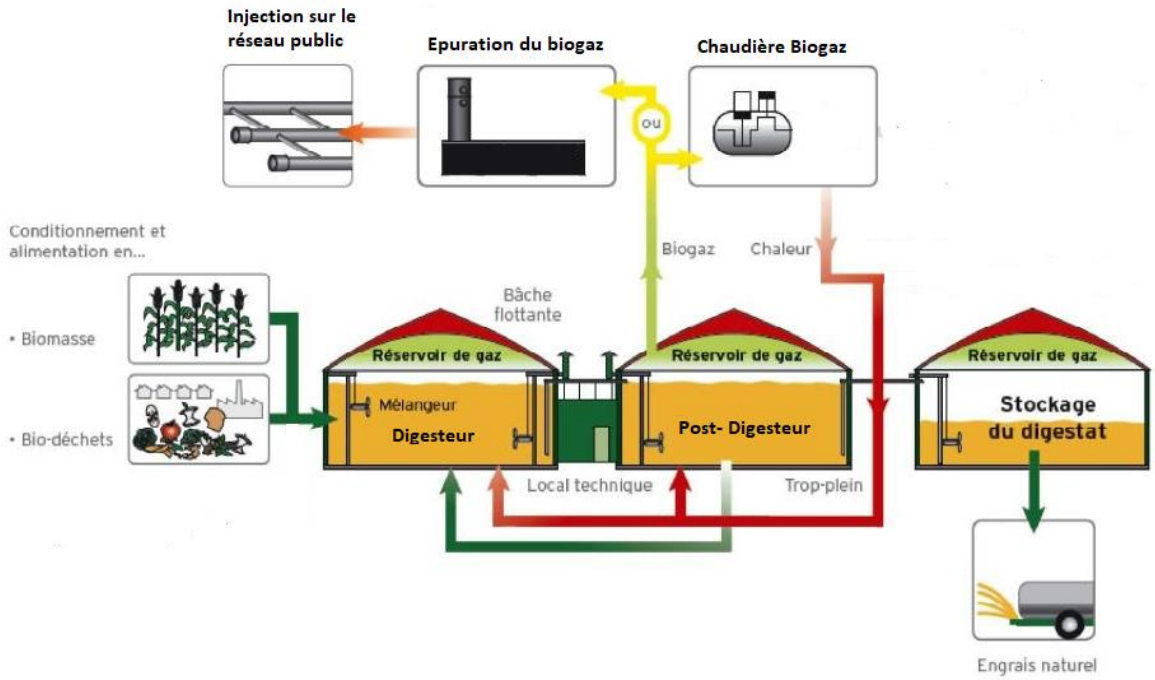
Dans la nouvelle PPE publiée au Journal Officiel le 23 avril 2020, les pouvoirs publics revoient à la baisse les ambitions de développement de la filière biométhane. À l'horizon 2028, c'est une fourchette de 14 à 22 TWh/an qui est fixée, avec la baisse des coûts de production comme variable d'ajustement. 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

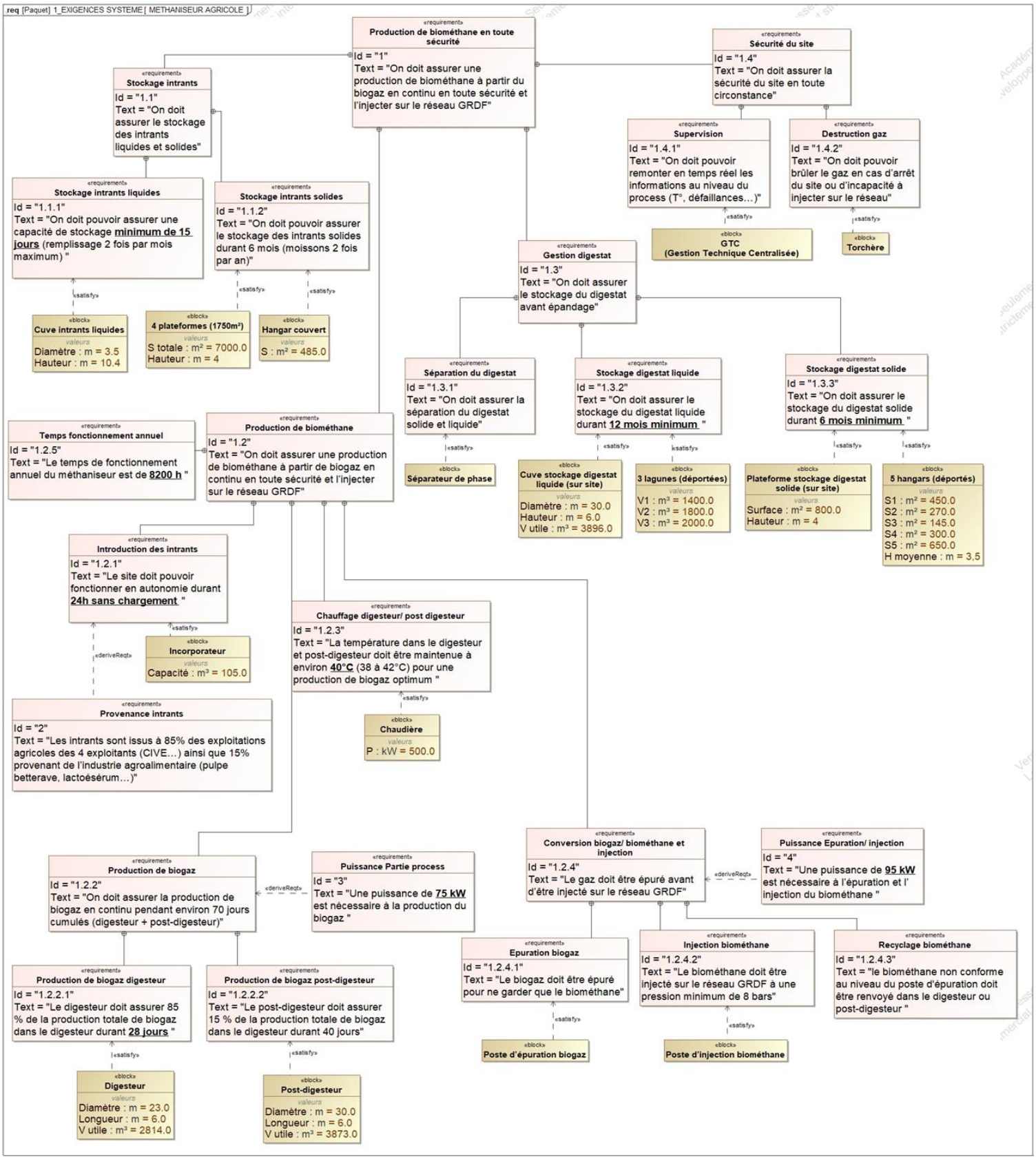
	méthanisation mésophile	**méthanisation thermophile**
Température	**35-40°C**	**50-65°C**
spécificités	Environ 20 % de chaleur autoconsommée Le plus couramment utilisé Biologie plus stable donc plus facile à maîtriser	Environ 35 % de chaleur autoconsommée Hygiénisation plus poussée des germes pathogènes (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

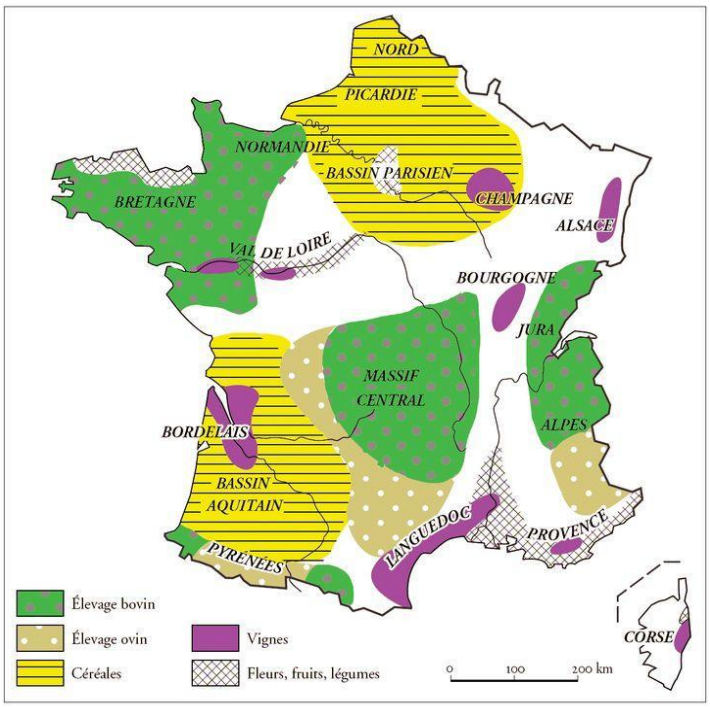
Quelle efficacité énergétique ?

Valorisation par injection	**Valorisation par cogénération**
Rendement énergétique de l'installation ▪ Rendement épuration : 98 % ▪ Rendement injection : 100 % ***Rendement brut global : 98 %*** (avec chauffage du méthaniseur)	***Rendement énergétique de l'installation*** ▪ Rendement électrique moyen : 40 % ▪ Rendement thermique moyen : 42 % ***Rendement brut global : 82 %*** (avec chauffage du méthaniseur)

DT8 – Diagramme d'exigences du méthaniseur agricole



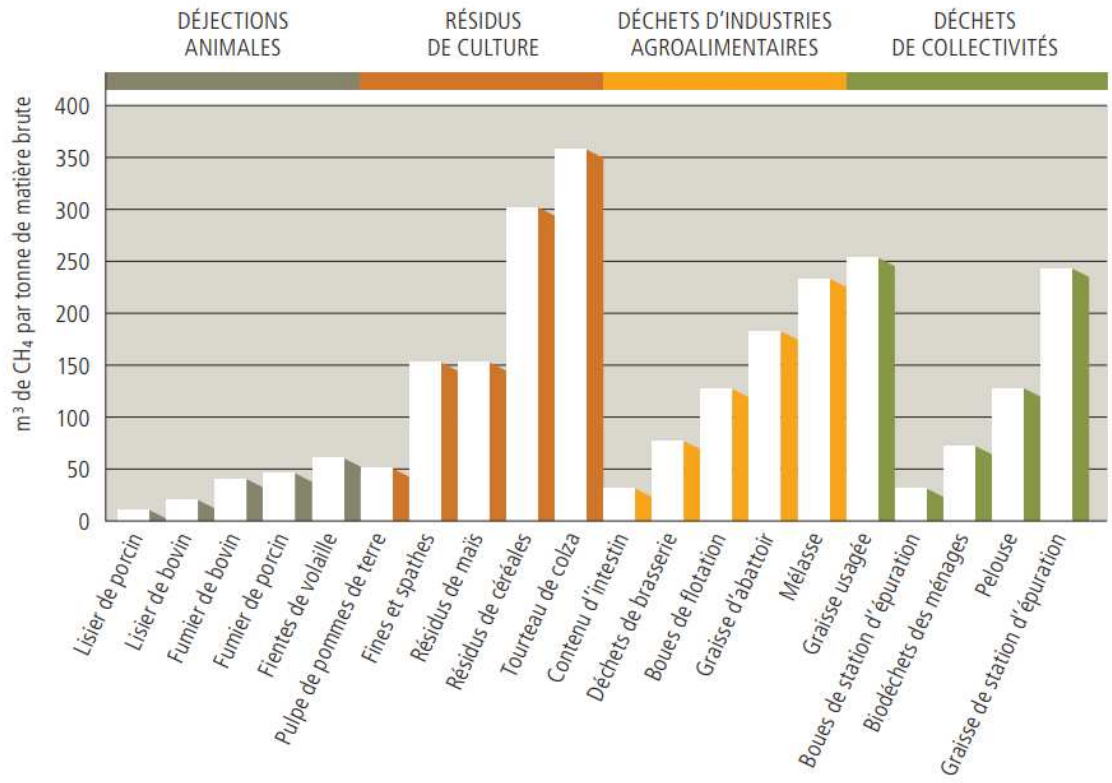
DT9 – Cartographie des régions agricoles françaises



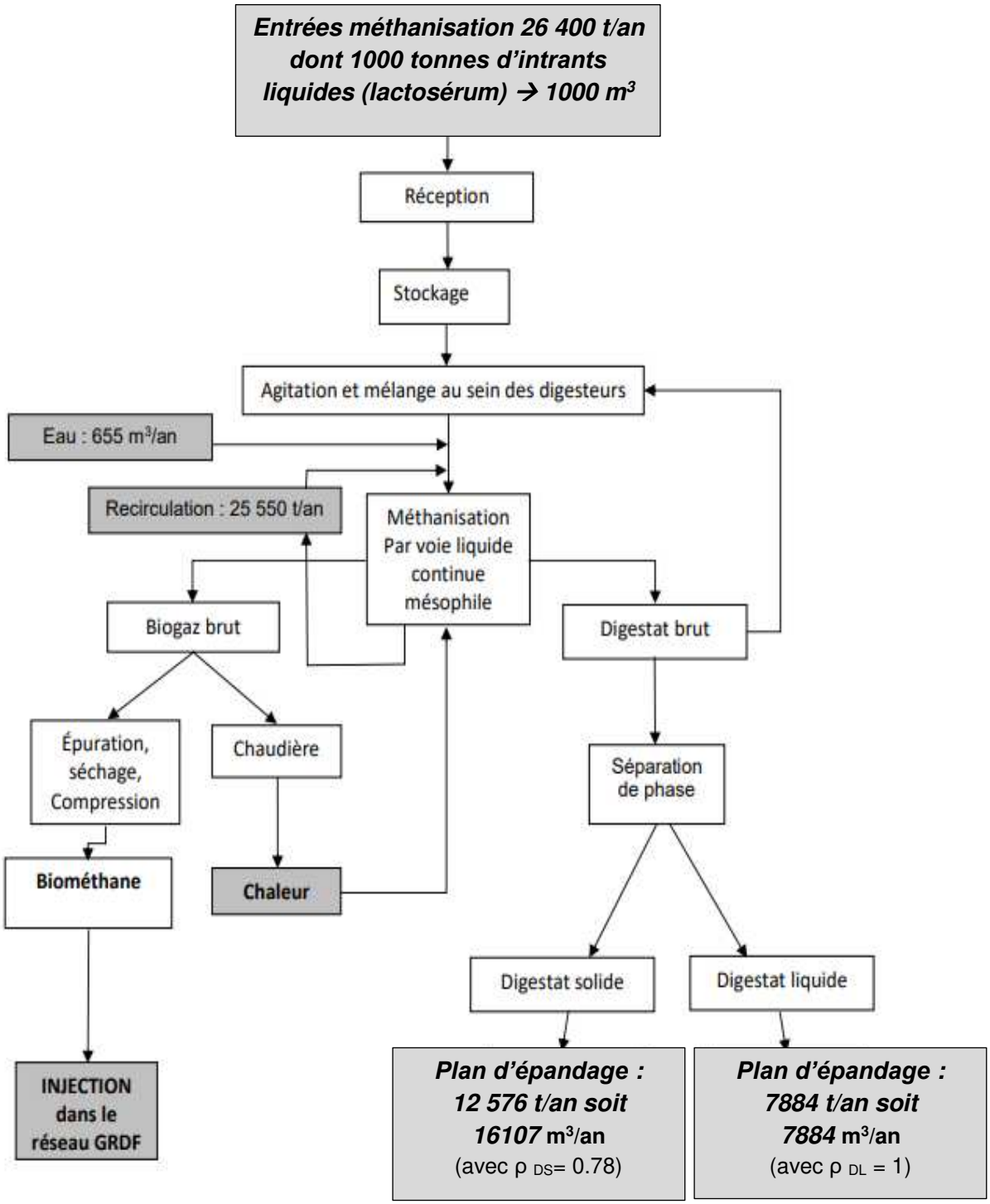
DT10 – Potentiel méthanogène en fonction du type d'intrant

Figure 2. Exemple de quantités de méthane formé en fonction de la nature des intrants

(source : ATEE Club biogaz)



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 pénètrera 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 CO_2 du CH_4.

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 CH_4 dans le Off-Gaz et de respecter la règlementation.

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 $Nm^3 \cdot h^{-1}$ de biogaz.

Le module d'épuration a pour objectif de convertir le biogaz (60 % de méthane, 40 % de CO_2 et quelques impuretés) en biométhane injectable dans le réseau GRTgaz.

1.8.6.8 Bilan de la valorisation du méthane

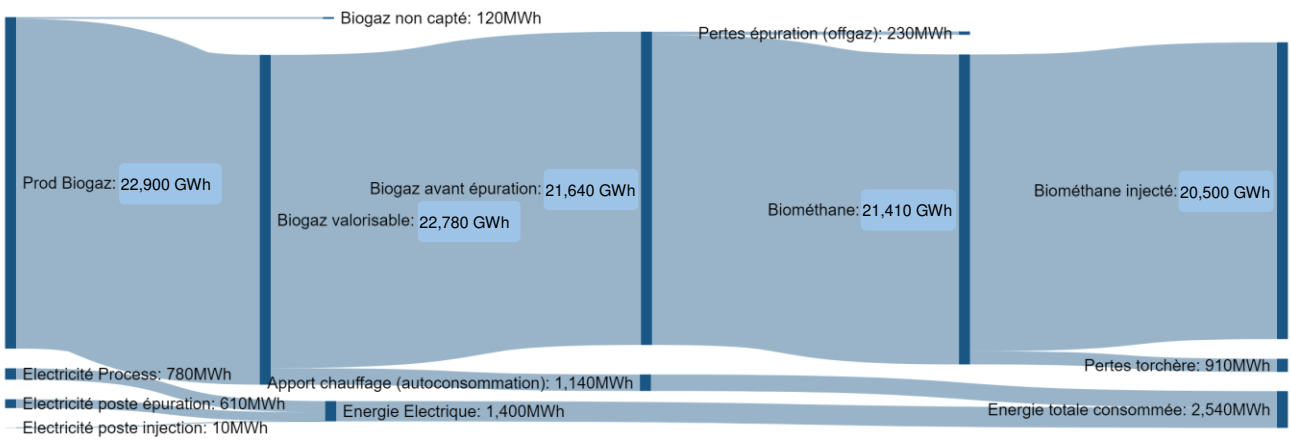
L'étude de faisabilité réalisée par GRDF a montré que la totalité du biométhane peut être injectée sur le réseau. En effet il existe une consommation importante de gaz dans la région, même en été.

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 CH_4 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 process 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, NOx	★★★	◑	★★★	€
	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	★★	○	★★	€€€
		Etre vigilant lors des réceptions des ouvrages de méthanisation (étanchéité)	Eviter	CH_4, CO_2	★	◑	★★★	€€
	Polluants	Réduire et limiter la formation de H_2S en amont ou dans le digesteur	Réduire	H_2S	★	•	★★	€
		Suivre les émissions de H_2S	Mesurer	H_2S	★	•	★★	€€€
Stockage / valorisation biogaz	GES	Détecter et suivre les fuites de biogaz	Eviter	CH_4, CO_2	★★	○	★★	€€€
		Optimiser la valorisation énergétique	Eviter	CO , CO_2	★	◑	★★	€
	Polluants	Eliminer l'ammoniac du biogaz par prétraitement pour améliorer la combustion	Eviter	NOx	?	◑	★★	€€
		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	★★	◑	★★★	€€
		Maximiser les temps de séjour dans le digesteur et post-digesteur et capter le biogaz	Réduire	CH_4, CO_2	★	◑	★★★	€
	Polluants	Recouvrir, aspirer et traiter l'air vicié / valoriser les biogaz résiduaire	Eviter	NH_3	★★	◑	★★★	€€
		Traiter l'air vicié	Traiter	NH_3	★★	•	★★	€€€
Epandage digestat	GES ET polluants	Utiliser une rampe à pendillards ou des enfouisseurs à disques	Réduire	N_2O, NH_3	★	◑	★★★	€€
		Respecter des périodes d'épandage appropriées	Réduire	N_2O, 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 minimes

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…

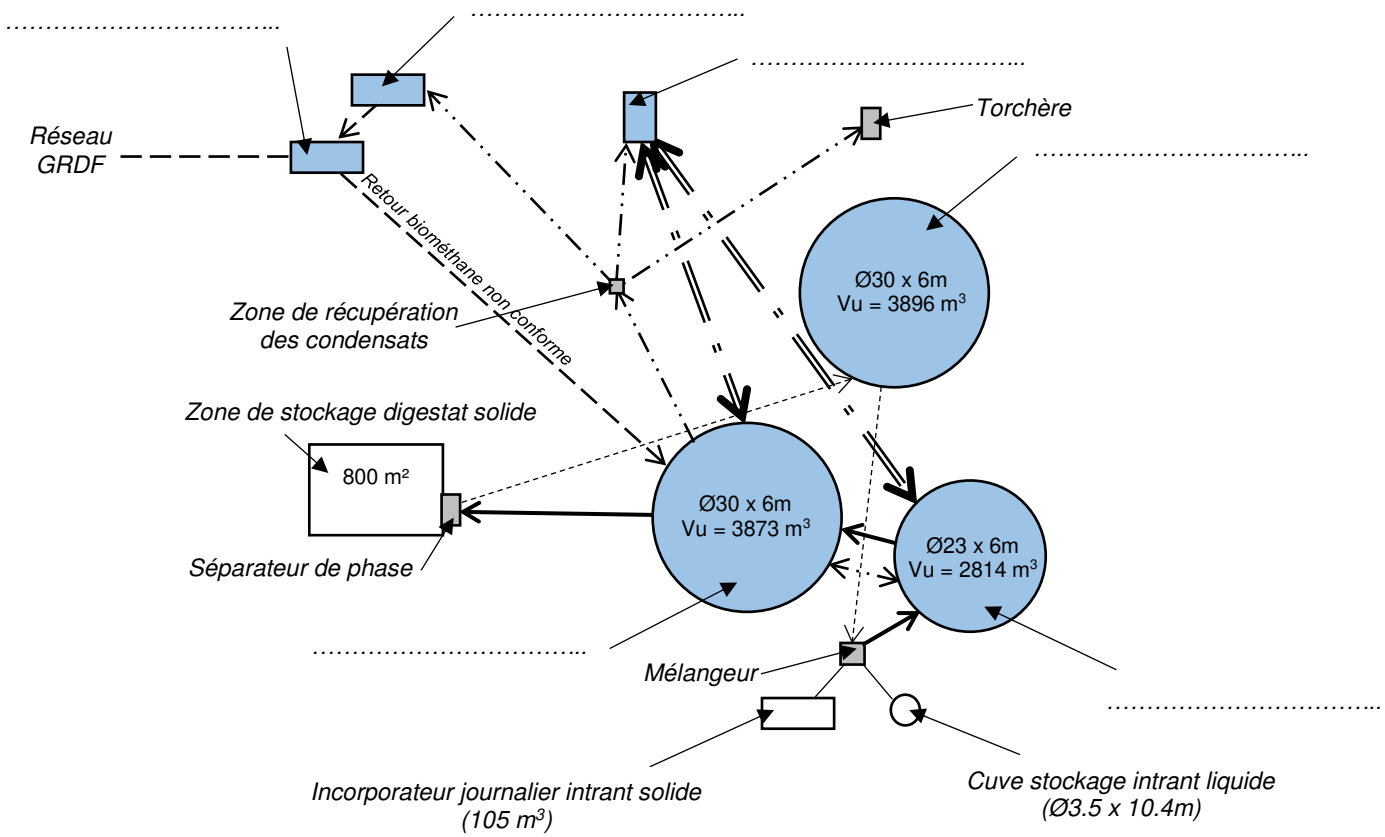
Les porteurs de projet sont également fortement incités à recourir à un architecte expert en intégration paysagère.

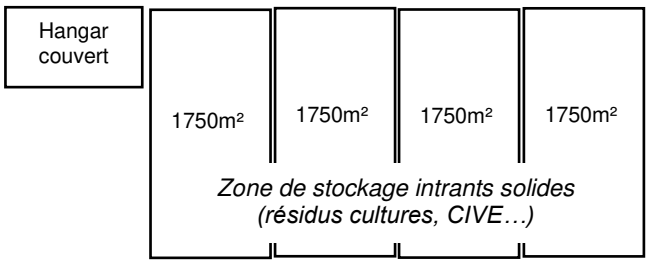


L'intégration paysagère est à prendre en compte dès le choix du site d'installation de l'unité de méthanisation. Des couleurs proches de celles de la nature permettent de mieux intégrer les bâtiments dans leur environnement.

DOCUMENT RÉPONSES – DR1

Représentation simplifiée de l'implantation des principaux contituants 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

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.)

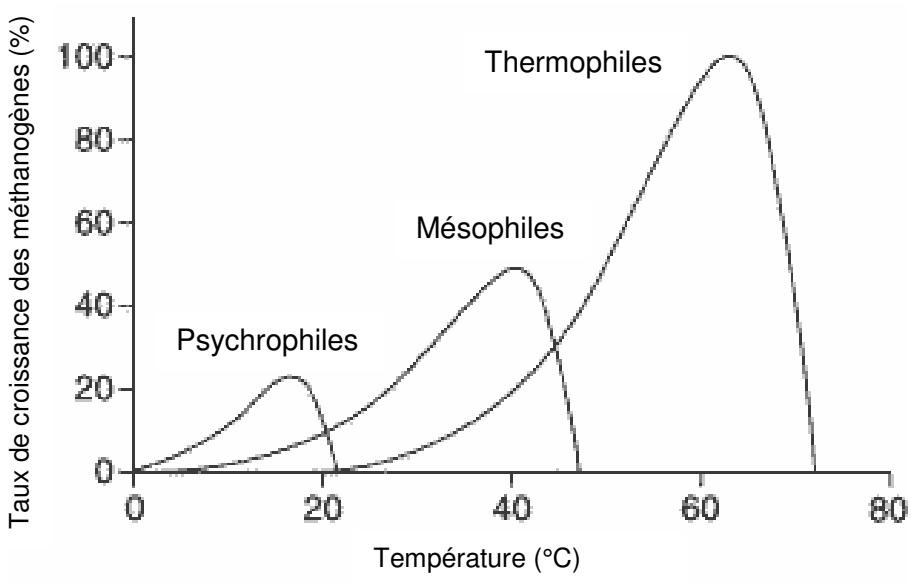
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

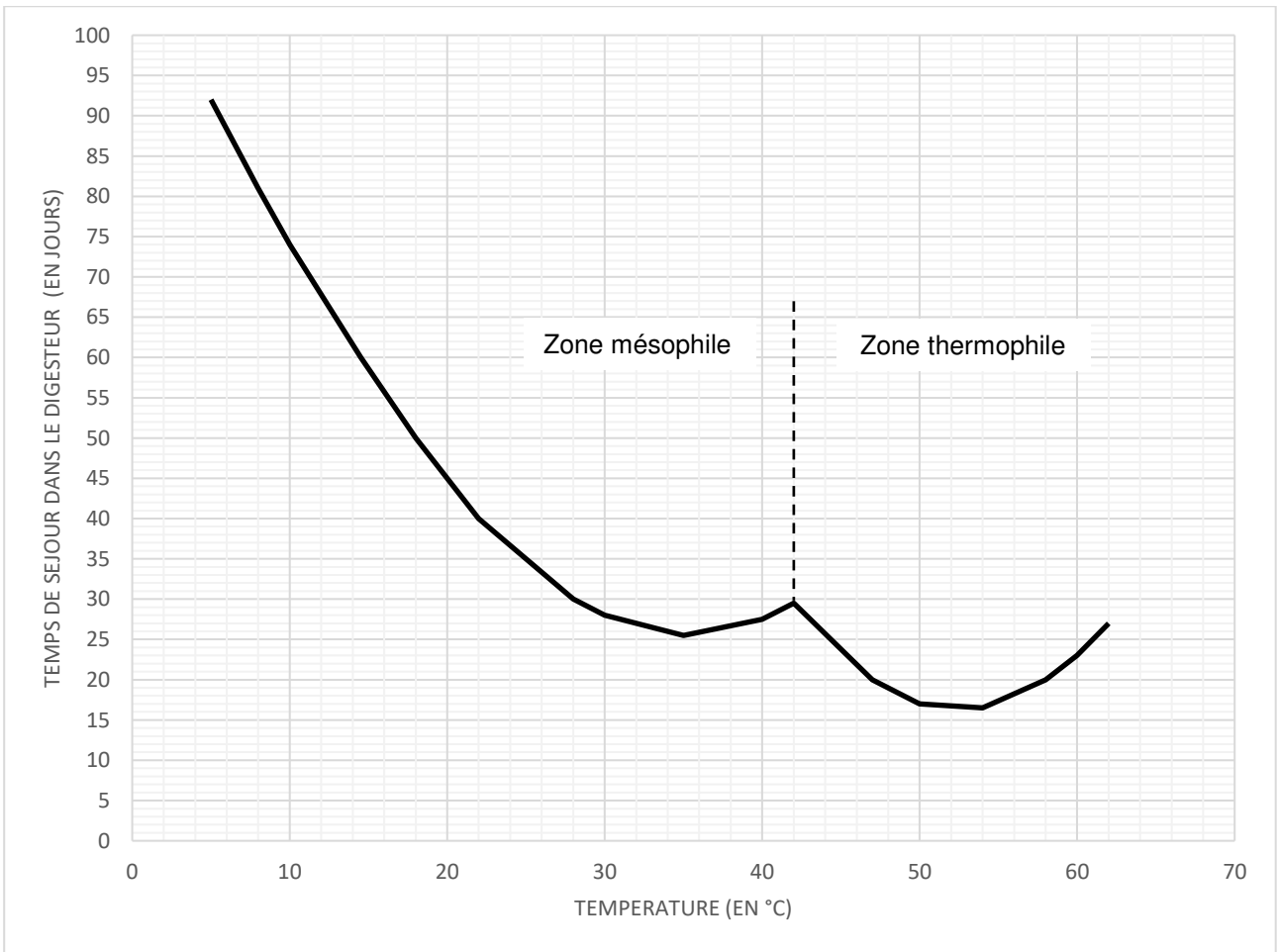
Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DOCUMENT RÉPONSES – DR2

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





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 : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

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 :

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 : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

PARTIE SPÉCIFIQUE (8 points)

Énergies et Environnement

Méthaniseur Agricole



Constitution du sujet :

- **Dossier sujet et questionnement** ..... 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_{bpv}) 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 secouru. **Calculer** la puissance (P_{sec}) nécessaire au fonctionnement du poste d'injection en mode secouru.

L'énergie électrique nécessaire au fonctionnement en mode secouru 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 secouru. 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 DTS6	**Justifier** que la sonde choisie permette d'assurer la mesure de la température dans le digesteur.

Question C.2 DRS3	**Tracer puis relever** les valeurs en sortie de la sonde Pt100 pour les températures suivantes de 35 °C, 40 °C et 45 °C **Vérifier** par le calcul la valeur de la résistance à la température de consigne de 40 °C.

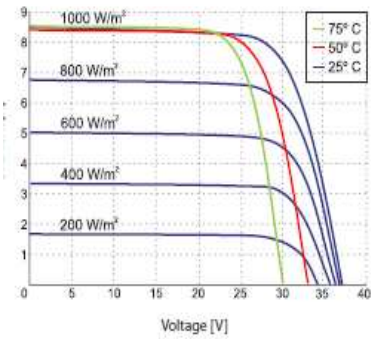
Pour la suite, nous considérons une résistance de 200 Ω à T = 40 °C.

Question C.3 DTS6 DRS3	**Calculer** la valeur du courant (I_{sonde}) pour la consigne de température de 40 °C. **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 irradiations 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):

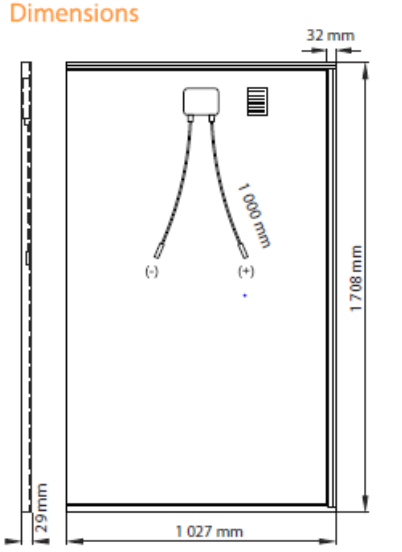
Référence module	BSO	315	320	325	330	335
Puissance nominale	P_{MPP} [W]	315	320	325	330	335
Courant de court-circuit	I_{CC} [A]	9,80	9,80	9,90	9,95	10,05
Tension en circuit ouvert	U_{CO} [V]	42,5	42,6	42,7	42,9	43,0
Courant au point de puissance maximale	I_{MPP} [A]	9,05	9,15	9,25	9,35	9,45
Tension au 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	Grêlon / Φ 25 mm / 83 km/h

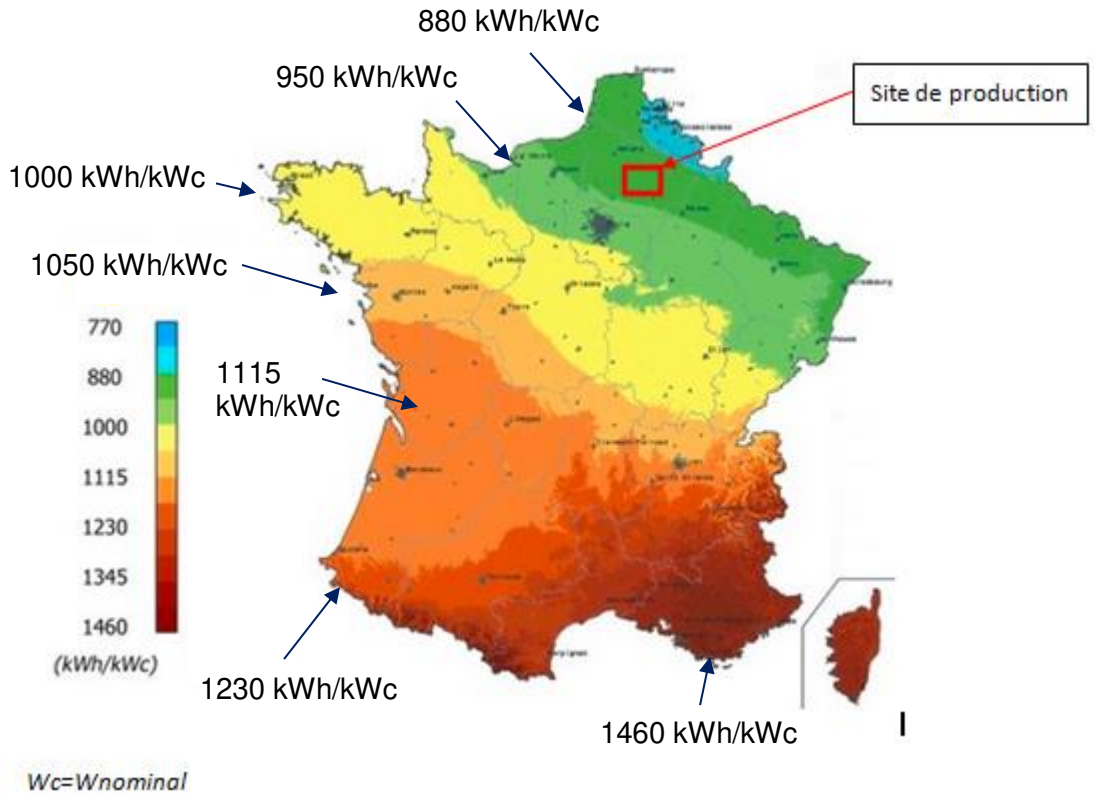
$Surface\ panneau: S_p$

Dimensions



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 : St Quentin — Prendre en compte un masque : non

Inclinaison du plan : 35° — Orientation du plan : Sud — Albédo du sol : 0.2

Puissance crête de l'installation PV : 200 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 DC	230V AC	Puissance consommée nominale [W]
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

victron energy
BLUE POWER

Gel et AGM Batteries



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

ONDULEUR

TECSUP

ONDULEURS PUR SINUS

24 VDC / 230 VAC
12 VDC / 230 VAC



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.

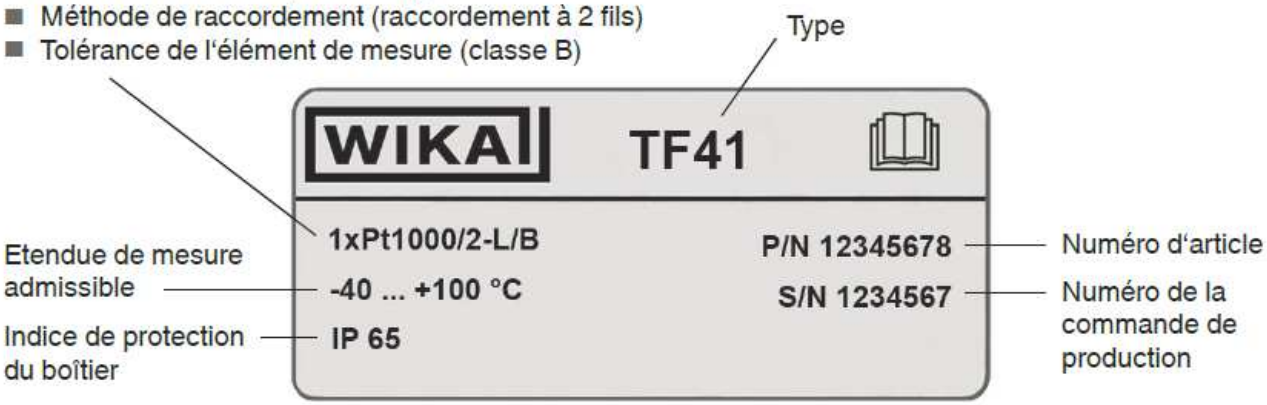
	Puissance nominale	**600 W**	**1000 W**	**1500 W**	**2000 W**	**3000 W**
	Puissance Max. en pointe	800 W	2000 W	3000 W	4000 W	6000 W
	Dimensions (mm)	295 x 180 x 72	383 x 182 x 88	415 x 191 x 88	422 x 208 x 166	452 x 208 x 166
	Poids	2.7 Kg	4 Kg	4.8 Kg	9 Kg	9.8 Kg
	Détection de charge réglable	Non	20 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

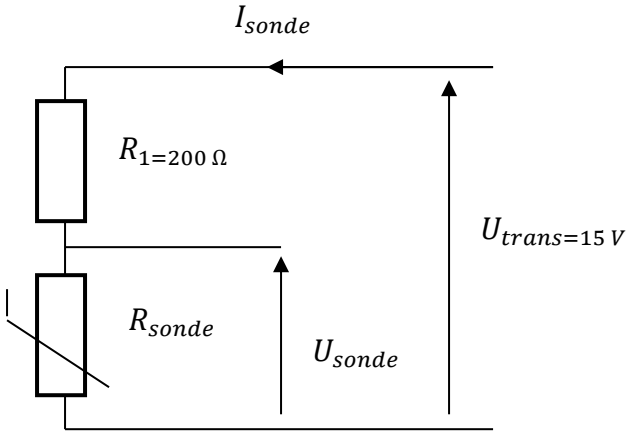


Plaque signalétique

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



Sonde PT100 2fils



DOCUMENT RÉPONSES – DRS1

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

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.)

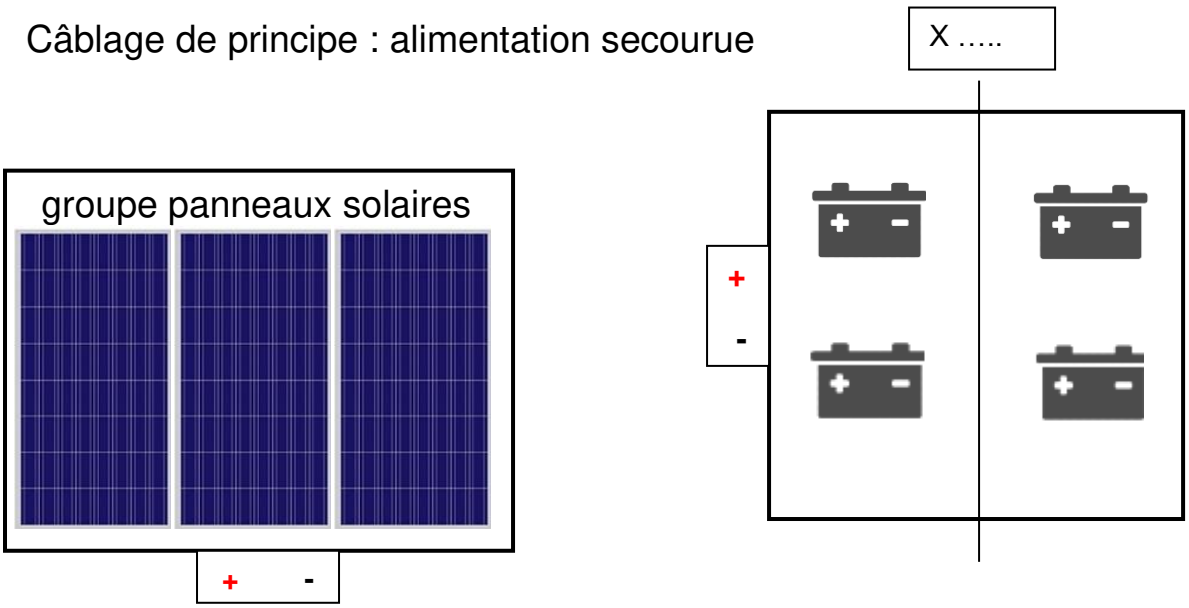
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DOCUMENT RÉPONSES – DRS2

Câblage de principe : alimentation secourue



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.)

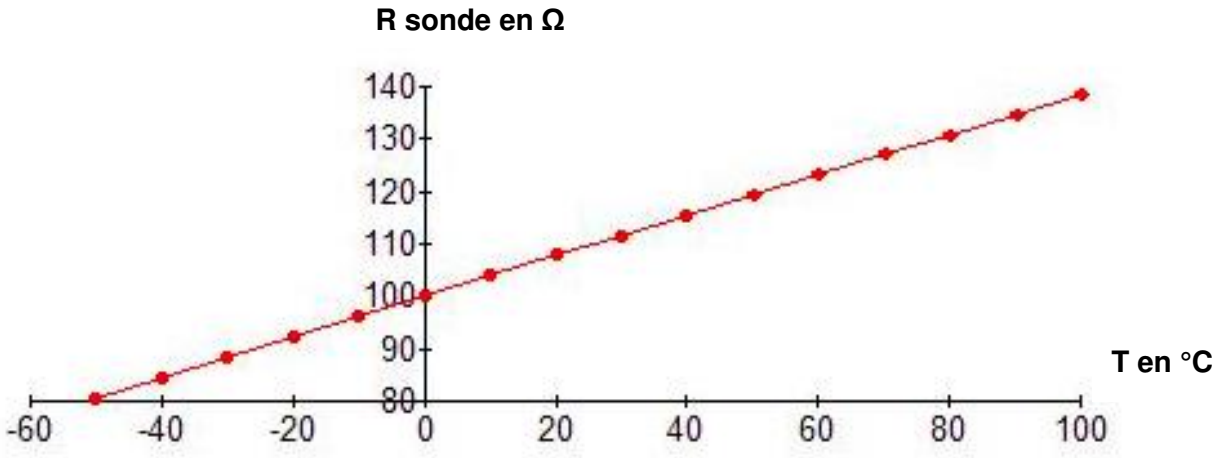
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DOCUMENT RÉPONSES – DRS3

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 × 10^{-3} $°C^{-1}$ 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			

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 : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.