

01

version

Offre commerciale

Installation de méthanisation : 20 millions de m³ de biométhane + 34 000 tonnes de CO₂ liquide de qualité alimentaire par an



Date : 16/10/2026

Validité : 1 an



Sommaire

Présentation	3
Potentiel des matières premières	4
Caractéristiques de l'installation de méthanisation	5
Personnel de l'installation	6
Procédé de méthanisation	7
Fonctionnement de l'installation	8
Équipements principaux	9
Préparation de la paille et des résidus de récolte	10
Ligne de séchage des résidus	11
Doseur de granulés	12
Trémie d'alimentation-1,2,3,4	13
Digesteur-1,2,3,4	14
Agitateur vertical du digesteur	15
Post-digesteur	16
Agitateur à pales du post-digesteur	17
Hublots avec projecteurs	18
Équipements de pompage	19
Séparateur	20
Cuves de réception et de filtrat	21
Agitateur immergé	22
Gazomètre	23
Refroidissement du biogaz	24
Surpresseur de biogaz	25
Système de désulfuration	26
Générateur d'oxygène	27
Unité de biométhane	28
Station de compression du biométhane	31
Chromatographe en phase gazeuse	32
Station d'odorisation	33
Unité de liquéfaction du CO ₂	34
Torchère à biogaz	35
Alimentation en eau et assainissement	36
Système de chauffage	37
Aéroréfrigérant (refroidissement du substrat)	38
Automatisation et équipements électriques	39
Capteurs (lot)	40
Laboratoire	41
Diesel générateur	42
Nomenclature	43
 Annexes:	 48
Annexe 1. Bilan matière	49
Annexe 2. Schéma de procédé	50
Annexe 3. Plan d'implantation	51
Annexe 4. Consommation électrique	52
Annexe 5. Prix des équipements et prestations	53
Annexe 6. Calendrier du projet et paiements	54



Présentation

Zorg Biogas propose une solution intégrée de méthanisation de la paille et des résidus de récolte de maïs, suivie de l'épuration du biogaz en biométhane. Le procédé associe préparation des matières, digestion en deux étapes, collecte du biogaz et purification membranaire.

Les matières fibreuses nécessitent un prétraitement et un temps de séjour prolongé. La digestion principale dure 35 jours dans quatre réacteurs à forte charge (HLR). Le substrat rejoint ensuite un post-digesteur séparé pour poursuivre la dégradation de la matière organique. Un gazomètre installé sur cette cuve recueille le biogaz.

La préparation de la paille comprend le broyage et le séchage. La technologie HLR est conçue pour la paille, l'ensilage et des matières végétales similaires, y compris sans ajout d'autres substrats. La charge organique de calcul est de 9,49 kg de matière sèche organique par m³ de réacteur et par jour. L'installation comprend quatre réacteurs principaux de 4 170 m³ chacun.

La comparaison de cette offre retient, pour une installation CSTR classique, une charge de 3-5 kg MSO/(m³·jour) et 8-10 réacteurs. Selon cette estimation, les réacteurs HLR sont environ trois fois plus compacts et moins coûteux ; l'investissement de la solution proposée peut être inférieur d'un facteur de 2 à 2,5. La réduction du nombre de cuves diminue aussi le besoin de pompes et d'équipements associés.

Le fonctionnement thermophile réduit les coûts de refroidissement des réacteurs. L'unité membranaire produit du biométhane contenant plus de 99% de méthane avec une faible consommation électrique. Ces solutions visent à valoriser efficacement les résidus végétaux et à réduire les coûts d'exploitation.

Potentiel des matières premières

Matière première	Quantité (t/jour)	Quantité (t/Année)	Teneur en MS (%)	Teneur en MSO (%)	Quantité de MS (t/jour)	Quantité de MSO (t/jour)	Rendement en biogaz (m³/t MSO)	Biogaz (m³/jour)	Teneur en méthane (%)	Biométhane (m³/jour)
Granulés de paille	85,24	31 112	90	90	76,71	69,04	640	44 186	53	
Granulés de résidus de récolte	114,16	41 668	90	94	102,74	96,58	640	61 808	53	
Total	199,40	72 780						105 994	53	
Pour le séchage des matières								-3600		
Vers l'unité de biométhane								102 394	53	54 597

Caractéristiques de l'installation de méthanisation

Caractéristiques	Unité	Valeur
Nombre total de digesteurs	unité	5
Digesteurs 1,2,3,4 (HLR)	unité	4
Volume du digesteur		
Utile	m ³	3925
Total		4170
Température de digestion	°C	52
Dimensions du digesteur		
Diamètre	m	25,0
Hauteur		8,5
Charge organique	kg MSO/ m ³	9,49
Temps de séjour (brut/net)	jours	35/33
Nombre de gazomètres	unité	0
Digesteur 5 (post-digesteur)	unité	1
Volume du post-digesteur		
Utile	m ³	4988
Total		5300
Température de digestion	°C	48
Dimensions du digesteur		
Diamètre	m	26,0
Hauteur		10,0
Charge organique	kg MSO/ m ³	3,32
Temps de séjour (brut/net)	jours	15/14
Nombre de gazomètres	unité	1
Volume du gazomètre	m ³	3826
Dimensions du gazomètre		
Diamètre	m	26,0
Hauteur		13,0

Personnel de l'installation

	Équipe 1	Équipe 2	Équipe 3
Directeur	1	-	-
Ingénieur en chef	1	-	-
Gestionnaire	1	-	-
Comptable	1	-	-
Opérateur	1	1	1
Opérateur de la ligne de paille	1	1	1
Conducteur (paille, résidus)	1	1	1
Conducteur (digestat)	1	1	1
Électricien	1	-	-
Mécanicien	1	-	-
Technicien de laboratoire	1	-	-
Total	19		



Procédé de méthanisation

La fraction organique est convertie par hydrolyse biochimique des composés de masse moléculaire élevée en acides organiques simples, sels et alcools.

Composés organiques + H₂O -> C₅H₇N₀2 + HCO₃.

Les composés dissous sont ensuite transformés en CH₄ et CO₂ :

C₅H₇N₀2 + HCO₃ + H₂O -> CH₄ + CO₂ + NH₄.

Cette conversion progressive exige un bioréacteur fermé sans

oxygène. D'abord, les bactéries acidifiantes hydrolysent le substrat. Ensuite, les bactéries hétéroacétogènes oxydent les composés simples et produisent acétate, dioxyde de carbone et hydrogène libre. D'autres composés et l'acétate forment des composés C₁ (acides organiques simples).

Ces substances nourrissent les bactéries méthanogènes de la troisième étape. Les processus A et B font intervenir différents groupes bactériens, qui transforment les produits des deux premières étapes en méthane CH₄, eau H₂O et dioxyde de carbone CO₂.

Fonctionnement de l'installation

La paille et les résidus de récolte sont transformés en granulés dans l'atelier de préparation. Ce traitement modifie leurs propriétés, augmente la surface de contact avec les microorganismes et améliore leur digestibilité. Un convoyeur à bande distribue les granulés aux trémies ; des vis alimentent ensuite les digesteurs 1,2,3,4. Cette solution optimise la manutention, réduit les besoins en carburant et en personnel et maintient le site plus propre. Le chargement par chargeuse reste possible pendant l'entretien du convoyeur. Les dispositifs de pesage automatisent l'alimentation et répartissent uniformément les matières.

Le substrat est brassé et maintenu à température stable grâce aux capteurs et au suivi continu du chauffage/refroidissement installé sur les parois. Selon la température, il est chauffé ou refroidi par les aéroréfrigérants, maintenant le régime thermophile. Des agitateurs verticaux brassent périodiquement les réacteurs HLR ; des agitateurs inclinés équipent le digesteur 5, ou post-digesteur. Les entraînements extérieurs sur châssis restent accessibles à l'inspection et à l'entretien. Le séjour moyen est de 35 jours dans les digesteurs 1-4 et de 15

jours dans le digesteur 5.

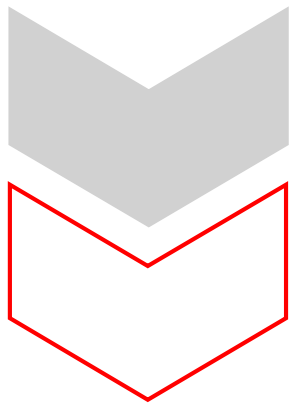
Des pompes envoient le digestat à la séparation en engrais organiques solides et liquides. Les solides sont déchargés dans une remorque puis stockés pour un usage interne. Le filtrat rejoint sa cuve puis est pompé vers la lagune.

Le biogaz monte sous les toitures des digesteurs 1-4 et rejoint le gazomètre du digesteur 5, où il se mélange au gaz du post-digesteur. Le dôme à double membrane forme la couverture sur les parois en béton. La membrane extérieure protège des intempéries et des corps étrangers. Une soupape ouvre à 5 mbar et évacue l'excédent de gaz à l'atmosphère.

Le gaz collecté et homogénéisé passe par le refroidissement puis par une surpression à 300-250 mbar avant traitement. La désulfuration comprend l'ajout de concentré d'hydroxyde de fer puis une finition au charbon actif jusqu'à 0-5 ppm de soufre. Le biogaz séché et purifié alimente l'unité de biométhane.

L'automatisation surveille et commande tous les procédés, visualisés sur l'ordinateur de l'opérateur. Le poste central permet la conduite générale et la sélection des modes local, manuel ou automatique.

Équipements principaux



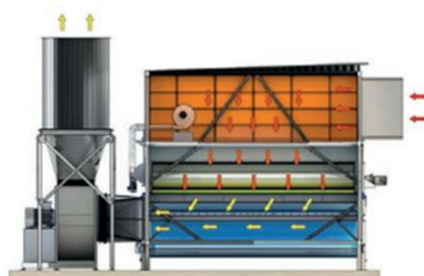


Ligne de séchage des résidus

Après broyage et avant granulation, les résidus entrent dans une unité de séchage modulaire facilement extensible. Deux vis répartissent le produit de façon optimale. Un mélangeur assure une humidité finale homogène et une ventilation économe en énergie améliore le séchage.



Le séchage indirect utilise des échangeurs tubulaires à eau chaude jusqu'à 130°C. Des échangeurs à plaques sont possibles pour les fluides particuliers, notamment la géothermie et l'huile thermique.



Le séchage direct utilise de l'air chaud à moins de 120°C ou des fumées, selon leur composition et l'application.

Caractéristiques techniques

Puissance électrique:	110kW
Puissance thermique:	210kW
Quantité :	1 lot

Préparation de la paille



Ligne de broyage et de granulation

La ligne prépare automatiquement la paille par un broyage homogène, essentiel à la production de biogaz avec cette matière. Le broyeur traite les balles et résidus en continu à 3-5 t/h.

Des convoyeurs distincts assurent le chargement, l'ouverture des balles, le retrait des liens, le défibrage, le dosage par vis, le raclage et l'épierrage. Des broyeurs à marteaux et une extrudeuse réduisent ensuite la matière de 5 mm à 0-2 mm et produisent des granulés. Les broyeurs disposent d'un séparateur aérogravitaire continu, d'une alimentation à double vis et d'une trémie pour matières en vrac.

Chaque ligne est adaptée au client, avec une faible consommation et une régulation intégrée de l'alimentation selon le courant absorbé par le broyeur et le broyeur-extrudeuse. La commande est intuitive et ergonomique.

Caractéristiques techniques

Puissance:

200 kW

Quantité :

1 lot



Doseur de granulés

Une trémie doseuse modulaire alimente le convoyeur en granulés. Elle comprend une trémie tampon, des chaînes de convoyage à raclettes et une structure porteuse. Un variateur règle la vitesse et le débit de granulés. Le pesage contrôle la quantité introduite.

Caractéristiques techniques

Hauteur :	2,75 m
Longueur:	24,0 m
Largeur:	3,0 m
Volume total:	200m ³
Quantité :	1 unité



Trémie d'alimentation (SF-01 ... SF-04)

Une trémie doseuse modulaire alimente les digesteurs. Son fond mouvant et ses vis assurent un dosage régulier de la biomasse. Le remplissage s'effectue par chargeuse. L'ensemble comprend une trémie de 20 m³, des chaînes à raclettes et une structure pour montage horizontal ou incliné. Des variateurs règlent la vitesse et l'alimentation. La trémie comporte un pesage et des broyeurs à marteaux.

Caractéristiques techniques

Hauteur :	2,0m
Longueur:	6,0m
Largeur:	2,3m
Volume total:	20m ³
Quantité :	4 unité



Digesteur (HLR) (R-01...R-04)

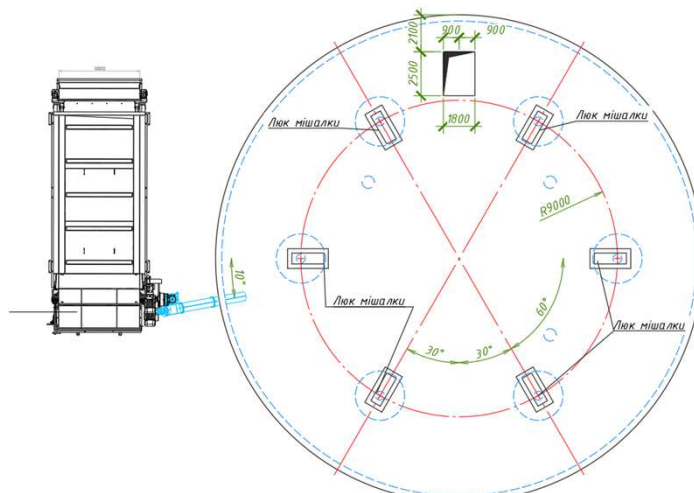
Le digesteur est l'élément central de l'installation : une cuve circulaire en béton armé sur fondation en béton. Sa dalle de couverture porte les agitateurs, vannes et conduites de biogaz. Un poteau central à chapiteau soutient la dalle. Le fond incliné facilite le chargement et le brassage ; des sorties supplémentaires permettent une vidange complète.

L'isolation extérieure en polystyrène extrudé limite les pertes thermiques. En partie enterrée, les parois et le fond reçoivent une étanchéité en rouleaux sur l'isolant. Des plaques protègent l'isolation contre les dommages et les rongeurs. Un drain perforé, placé à l'extérieur le long des parois sur la base en béton, contrôle l'étanchéité du fond et des murs. Des regards permettent de surveiller ce drainage.

Caractéristiques techniques

Hauteur :	8,5 m
Diamètre:	25,0 m
Volume total:	4170 m ³

Quantité :	4 unité
------------	---------



Toiture du digesteur
avec ouvertures des
agitateurs verticaux

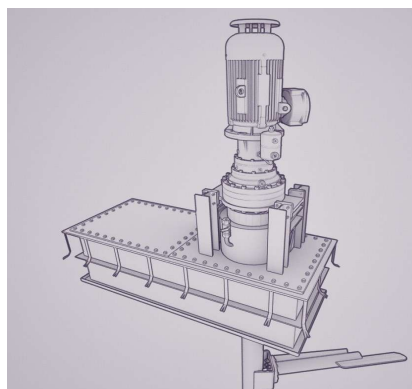
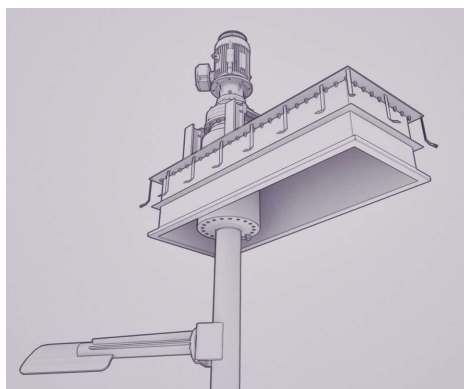


Agitateur vertical du digesteur - 1,2,3,4 (AG-01...AG-20)

L'agitateur vertical possède des pales sur toute la longueur de l'arbre et traite les substrats à 16-18% de matière sèche, dont herbe, ensilage et fumier. La géométrie et la disposition des pales homogénéisent les couches flottantes et décantées. L'arbre est adapté à la hauteur de la cuve. Les variateurs sont pilotés par l'automatisation. Les principales pièces d'usure restent à l'extérieur pour un entretien rapide.

Caractéristiques techniques

Puissance du moteur:	15kW
Quantité par cuve:	5 unité(s)
Quantité totale:	20 unité(s)



Trappes et raccordements des agitateurs verticaux

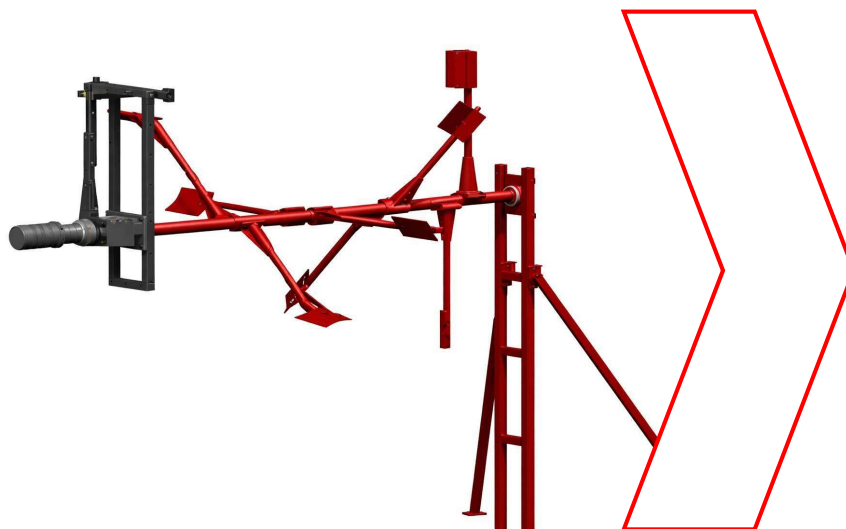


Post-digester (D-01)

Le post-digester est une cuve circulaire en béton armé sur fondation en béton. Le fond incliné facilite le chargement et le brassage ; des sorties supplémentaires permettent la vidange complète. Des panneaux extérieurs en polystyrène extrudé limitent les pertes de chaleur. Sous terre, une étanchéité en rouleaux couvre l'isolant des murs et du fond. Des plaques protègent l'ensemble contre les dommages et les rongeurs. Un drain perforé longe l'extérieur des parois sur la base en béton pour contrôler l'étanchéité, avec surveillance par regards.

Caractéristiques techniques

Hauteur :	10,0 m
Diamètre:	26,0 m
Volume total:	5 300 m³
Quantité :	1 unité



Agitateur à pales du post-digesteur (AG-21...25)

L'agitateur incliné à pales de forte puissance Paddle-giant assure un brassage efficace de différents intrants, y compris des milieux très visqueux. Son fonctionnement préserve les populations bactériennes et favorise un rendement gazeux optimal. Les paliers sont réalisés dans un plastique particulièrement résistant à l'usure et à la corrosion. Les composants peuvent être remplacés sans vidanger le digesteur ni changer l'arbre.

Le principe de brassage convient à la rupture des croûtes flottantes et au mélange des couches compactées. Il facilite le dégazage du substrat et tolère de faibles variations du niveau de remplissage. Les réducteurs et moteurs proviennent de fabricants européens reconnus pour assurer une longue durée de service. Ils sont disponibles avec certification ATEX. Les agitateurs sont installés à différents niveaux dans la cuve.

Caractéristiques techniques ---

Puissance du moteur:	15kW
Quantité par cuve:	5 unité(s)
Quantité totale:	5 unité(s)



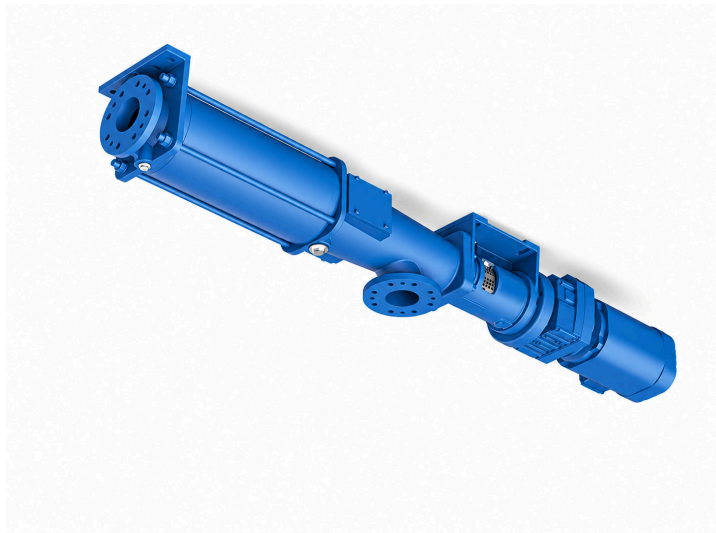
Hublots avec projecteurs (SG-01...SG-05)

Les hublots permettent le contrôle visuel dans les digesteurs. Les projecteurs antidéflagrants disposent d'une coupure automatique. Un essuie-glace et un système de lavage nettoient les vitres.

Caractéristiques techniques

Hublot: Ø300

Projecteur : 230V, 50W, IP65
VISULUXUL50-G -H



Équipements de pompage (PU-01....PU-09)

Les pompes transfèrent le substrat entre les équipements. La viscosité cinématique influe sur les courbes et le choix des pompes. Elle représente la résistance à l'écoulement et détermine le comportement du fluide. Le type de pompe est adapté à chaque substrat. Les pompes à vis transfèrent les boues fluides, épaissies mécaniquement et les substrats contenant jusqu'à 15% de matière sèche.

Caractéristiques techniques

Pompe de substrat liquide vers les digesteurs

Puissance du moteur:	11 kW
Débit:	40 m ³ /h
Quantité :	1 unité(s)

Pompe de substrat vers le post-digesteur

Puissance du moteur:	18 kW
Débit:	60 m ³ /h
Quantité :	4 unité(s)

Pompe d'alimentation du séparateur

Puissance du moteur:	18 kW
Débit:	60 m ³ /h
Quantité :	4 unité(s)

Pompe de filtrat

Puissance du moteur:	11 kW
Débit:	40 m ³ /h
Quantité :	1 unité(s)



Séparateur (SR-01 ... SR-04)

Le séparateur sépare l'eau des matières solides. Il fonctionne en continu et automatiquement selon le principe de la presse à vis et traite des mélanges fluides ou visqueux. La vis pousse le mélange solide-liquide de la chambre d'entrée vers le tamis horizontal. Une partie de l'eau traverse le tamis par gravité.

La vis amène l'eau restante et les particules solides, y compris les plus fines, vers la zone de pressage à l'extrémité du tamis. Un bouchon de matières solides compactées s'y forme en continu, puis est évacué par la sortie de la machine et peut être recueilli directement dans des conteneurs. Le liquide séparé s'écoule par la sortie située sous la machine. Les faibles jeux maintiennent en permanence la face intérieure du tamis propre.

Caractéristiques techniques

Puissance du moteur:

7,5 kW

Capacité:

8-30 m³/h

Quantité :

4 unité(s)



Cuves de réception et de filtrat (RT-01, FT-01)

La cuve de réception collecte et stocke le substrat liquide, le préchauffe et le mélange avant transfert vers les digesteurs. Elle comprend des capteurs de niveau et de température, un agitateur et une alimentation par pompe. La cuve de filtrat recueille le liquide séparé et sert de tampon pour sa réutilisation ou son rejet vers la lagune.

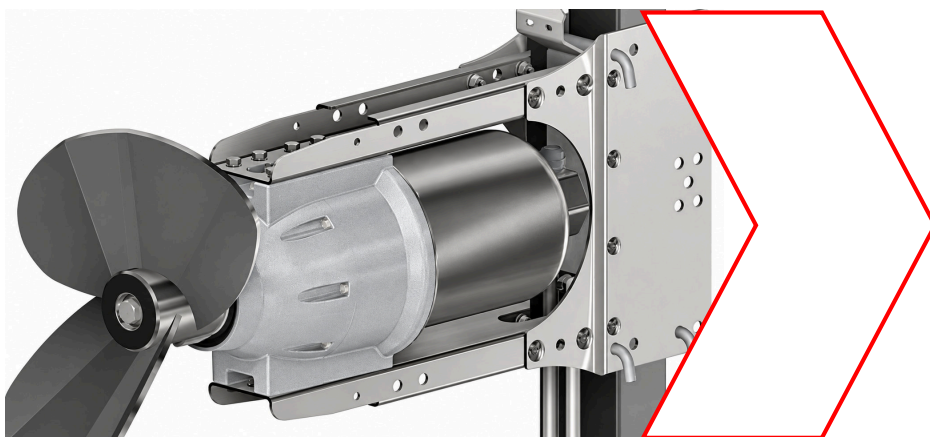
Caractéristiques techniques

Cuve de réception (RT-01)

Hauteur :	3,0 m
Diamètre:	8,0 m
Volume total:	150 m ³
Quantité :	1 unité

Cuve de filtrat (FT-01)

Hauteur :	3,0 m
Diamètre:	8,0 m
Volume total:	150 m ³
Quantité :	1 unité



Agitateur immergé (AG-21, AG-22)

L'agitateur immergé homogénéise les substrats liquides. Son monobloc étanche entraîne une hélice à trois pales. Il est conçu pour les atmosphères potentiellement explosives de Zone 2. Le support moteur s'adapte à la plupart des mâts de guidage et permet le réglage en hauteur. Le motoréducteur est en fonte nodulaire peinte, l'hélice galvanisée et le support en acier inoxydable.

Caractéristiques techniques

Puissance du moteur:	15 kW
Quantité par cuve de réception:	1 unité(s)
Quantité totale:	1 unité(s)
Puissance du moteur:	5,5 kW
Quantité par cuve de filtrat:	1 unité(s)
Quantité totale:	1 unité(s)



Gazomètre (GH-01)

Le gazomètre collecte et stocke le biogaz et égalise la pression. Sa double membrane comprend une enveloppe extérieure revêtue de PVC, protégée contre les UV sur les deux faces, de résistance 3 000 N/5 cm. La membrane intérieure PELD résiste au biogaz, avec une perméabilité maximale au méthane de 260 cm³/(m²·jour·1 bar) et une résistance de 650 N/5 cm. Elle résiste au froid jusqu'à -30°C.

La pression du biogaz dilate la membrane intérieure. L'air insufflé entre les membranes la met sous pression ; le gaz est maintenu à 2-5 mbar. La découpe CNC et la soudure haute fréquence améliorent la qualité par rapport à la fabrication manuelle et au soudage thermique.

Une fixation pneumatique assure une liaison solide et étanche à la paroi. Elle comprend un profil trapézoïdal, des fixations, un compresseur et un tuyau de serrage. Une soupape protège des dommages dus à la pression.

Caractéristiques techniques

Hauteur :	13,0 m
Diamètre:	26,0 m
Volume total:	3826 m³
Quantité :	1 unité



Refroidissement et séchage du biogaz (CHL-01..04)

Des équipements spécialisés sèchent et refroidissent le biogaz : échangeurs basse pression, groupes d'eau glacée et aéroréfrigérants. Le refroidisseur est un échangeur à calandre et tubes à un passage : le gaz circule dans les tubes, le fluide froid autour. Les pièces au contact du biogaz sont en acier inoxydable 316Ti ou 316L.

Caractéristiques techniques

Débit de biogaz:	2200 m ³ /h
Température d'entrée:	+48°C
Température de sortie:	+25°C
Puissance électrique :	56 kW
Quantité :	4 unité(s)



Surpresseur de biogaz (BC-01..04)

La soufflante transporte le biogaz et augmente sa pression grâce à une roue tournante. Un variateur permet le fonctionnement entre 30 et 100% de capacité.

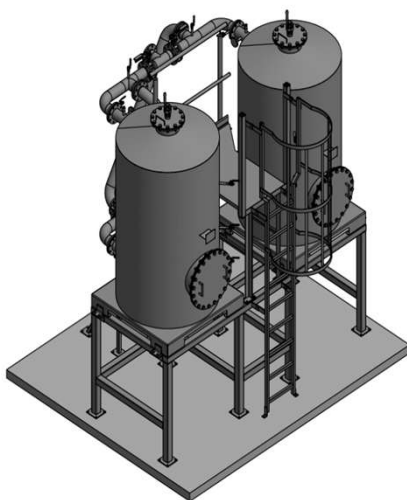
Caractéristiques techniques

Débit de biogaz:	4500 m ³ /h
Pression:	300 mbar
Puissance électrique :	55 kW
Quantité :	2 unité(s)



Filtre à charbon actif

La finition utilise un charbon actif imprégné d'iodure de potassium, conçu pour le biogaz. Le H_2S est adsorbé dans les pores du charbon. Le corps, le fond, les grilles et les conduites en acier inoxydable résistent à la corrosion, même à forte concentration. Le filtre s'installe à l'intérieur ou à l'extérieur sur fondation ou châssis. Il abaisse le soufre à 0-10 ppm et élimine aussi les composés halogénés et les siloxanes.

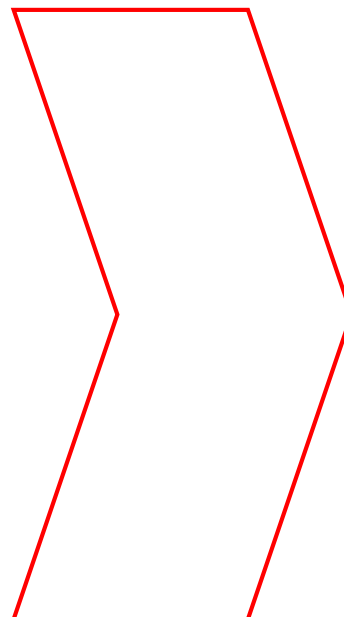


Pour faciliter le remplacement de l'adsorbant, les colonnes sont installées sur un châssis surélevé. Un véhicule peut passer dessous afin de décharger rapidement le charbon usagé dans une remorque.

Caractéristiques techniques

Charge de charbon:
Quantité :

500 kg
2 unité(s)



Générateur d'oxygène

Le générateur d'oxygène intervient dans la première étape d'épuration du biogaz. L'air contient environ 21% d'oxygène, gaz inodore, incolore et insipide aux conditions atmosphériques. Il peut être produit par adsorption modulée en pression (PSA) ou par distillation fractionnée cryogénique de l'air liquéfié.

En PSA, l'air comprimé traverse des filtres et une colonne de charbon actif pour retirer poussière, huile et eau. Il entre ensuite dans l'un des deux réservoirs contenant un tamis moléculaire (MS). Le CO₂ et l'humidité résiduelle sont adsorbés à l'entrée du lit. Sous pression, le tamis retient sélectivement l'azote et laisse passer l'oxygène à la pureté souhaitée.

Pendant qu'un réservoir produit de l'oxygène sous pression, l'autre est dépressurisé pour rejeter l'azote adsorbé à l'atmosphère. La commutation automatique assure une production continue. Le dimensionnement du compresseur et des réservoirs permet diverses combinaisons de débit et de pureté. La PSA produit économiquement de moins de 1 m³/h à plusieurs centaines de m³/h, avec une pureté de 90-95%.

Caractéristiques techniques

Capacité:	80 l/min
Puissance :	5,5kW
Quantité :	1 lot

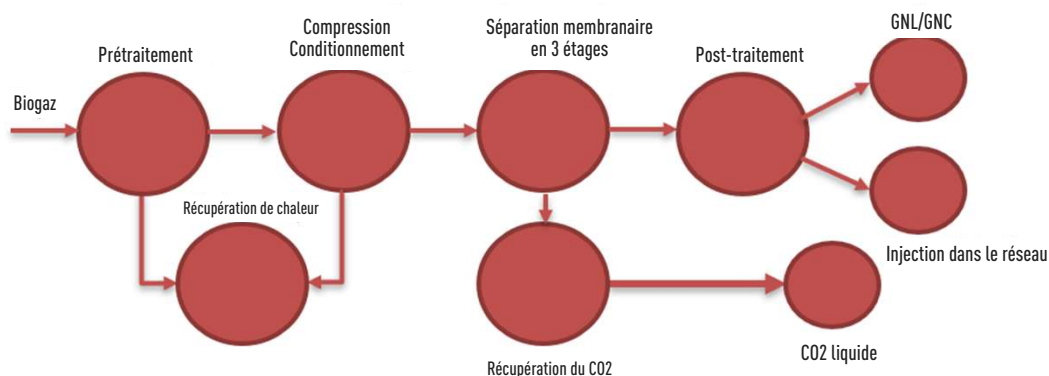


Unité d'épuration du biogaz en biométhane

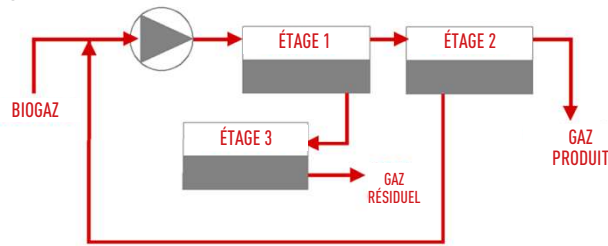
Le biogaz est épuré en biométhane par séparation membranaire sous différence de pression. Le CO₂ et les impuretés sont séparés du méthane pour produire un gaz riche en CH₄, adapté à l'injection ou au carburant. Avant les membranes, le refroidissement et la filtration retirent l'eau, le H₂S et les autres contaminants.

Le gaz nettoyé est comprimé à la pression nécessaire, généralement 12-16 bar selon la qualité de produit demandée.

Les membranes hautement sélectives laissent passer le CO₂ bien plus rapidement que le méthane. Les perméats des différents étages sont recyclés. Deux flux sont obtenus : du biométhane à la teneur requise et un gaz enrichi en CO₂. En sortie, le biométhane est pratiquement prêt à être injecté. L'équipement standard de contrôle comprend un analyseur de biométhane, un capteur de point de rosée et un capteur de température.



Les membranes hautement sélectives à trois étages constituent une technologie allemande avancée conçue pour l'épuration efficace du biogaz en biométhane.



Une cartouche contient plusieurs milliers de fibres creuses en polymères performants dans une enveloppe inoxydable. Les extrémités sont fixées dans une résine. La cartouche est placée dans un corps en acier sous pression ; l'ensemble forme un module. Plusieurs modules peuvent être raccordés pour traiter un mélange gazeux sous pression et constituer une installation compacte et simple à exploiter. Les corps inoxydables sont fabriqués selon les réglementations nationales pour répondre aux exigences locales. Des versions jusqu'à 20 bar et 25 bar sont disponibles.



Les membranes séparent les gaz à travers des milliers de fibres polymères creuses. La perméabilité dépend de la solubilité dans le matériau et de la vitesse de diffusion. Les gaz plus solubles et à petites molécules traversent plus vite que les gaz plus gros et moins solubles. Le rapport des vitesses de transfert est la sélectivité ; une sélectivité élevée améliore l'efficacité énergétique.

Dans la séparation CO₂/CH₄, le CO₂ traverse beaucoup plus rapidement et le méthane est retenu. Le gradient de pression partielle fournit la force motrice. Le biogaz atteint ainsi la qualité du gaz naturel, avec une pureté en méthane supérieure à 99%.

Avantages

- Consommation réduite avec 30-40% de recirculation.
- Résistance au H₂S jusqu'à 3%.
- Sans eau ni sorbant auxiliaire.
- Aucune émission environnementale.
- Séparation à température ambiante.
- Faible encombrement.
- Procédé continu.
- Conception modulaire simple.
- Souplesse et extension facile.
- Sélectivité et pureté très élevées.
- Récupération du méthane supérieure à 99%.



Caractéristiques de l'unité de biométhane

	Biogaz	Biométhane	CO2 gaz enrichi
Débit maximal (Nm³/h)	4500	2400	1995
Débit réel (Nm³/h)	4266	2275	1891
CH4 (%)	53	99	2,74
CO2 (%)	42,17	1,8	94,6
H2O (%)	0,8	point de rosée < -65°C	2
N2 (%)	0,8	1,16	0,3
O2 (%)	0,2	0,1	0,35
H2S (ppm)	<3	-	-
Température (°C)	20	25	40
Pression (bar)	0,09	3,1	0,05

Consommation d'énergie

Unité de biométhane

0,26 kW/Nm³ biogaz



Station de compression du biométhane 50 bar (CS-01)

La station compacte facilite l'installation. Elle est conçue pour du biométhane à une pression d'entrée de 0-50 bar et fonctionne à 3 000-54 600 Nm³/jour.

Composants principaux :

- Compresseur à pistons, cylindres sans huile.
- Un ou deux étages, sortie de 4-50 bar.
- Pistons et joints dépassant les standards industriels.
- Accouplement direct moteur-compresseur.
- Automate avec écran.
- Télécommande intégrée.
- Épurateur d'entrée à purge automatique.

Caractéristiques techniques

Débit de biométhane:	2275 m ³ /h
Puissance électrique :	400 kW
Quantité :	2 unité(s)

Quantité recommandée : 2 unités, pour assurer la continuité pendant les réparations et l'entretien des compresseurs.



Chromatographe en phase gazeuse

Le chromatographe mesure précisément la composition du biogaz et du biométhane. Il contrôle la qualité en continu ou périodiquement avant injection ou livraison. Il collecte et analyse les données, effectue l'étalonnage et calcule, selon ISO 6976, les pouvoirs calorifiques inférieur et supérieur, la masse volumique et l'indice de Wobbe à partir des composants. Le chromatogramme détermine chaque concentration, affichée en temps réel ou dans un rapport.

Caractéristiques techniques

Protection antidéflagrante pour Zones 1 et 2. Boîtier inoxydable à porte protégée, IP66. PC industriel en façade. Télécommande LAN du chromatographe et du sélecteur de flux. Interface avec base de données. Modbus et Profibus via Ethernet/RS232/RS485.

Quantité :

1 unité(s)



Station d'odorisation

La station ajoute un odorant, généralement à base de mercaptans ou de composés soufrés, donnant au biométhane une odeur caractéristique pour détecter les fuites. L'odorisation est obligatoire pour l'injection dans les réseaux de distribution. Elle comprend réservoir, pompe doseuse de précision, régulation, capteurs de pression et de débit, commande, capot et armoire de protection et dispositif anti-fuite.

Caractéristiques techniques

Pression maximale de service:	100 bar
Température de service:	17°C-60°C
(versions chauffées pour le froid)	
Signal d'entrée du débit :	impulsion
Quantité :	1 unité(s)



Unité de liquéfaction du CO2

L'épuration produit du biométhane à la teneur requise et un gaz riche en CO2. Un module de récupération permet de liquéfier ce CO2. Le compresseur élève la pression en deux étages. Le charbon actif retire les odeurs et impuretés, puis un sécheur automatique à tamis moléculaire élimine l'humidité.

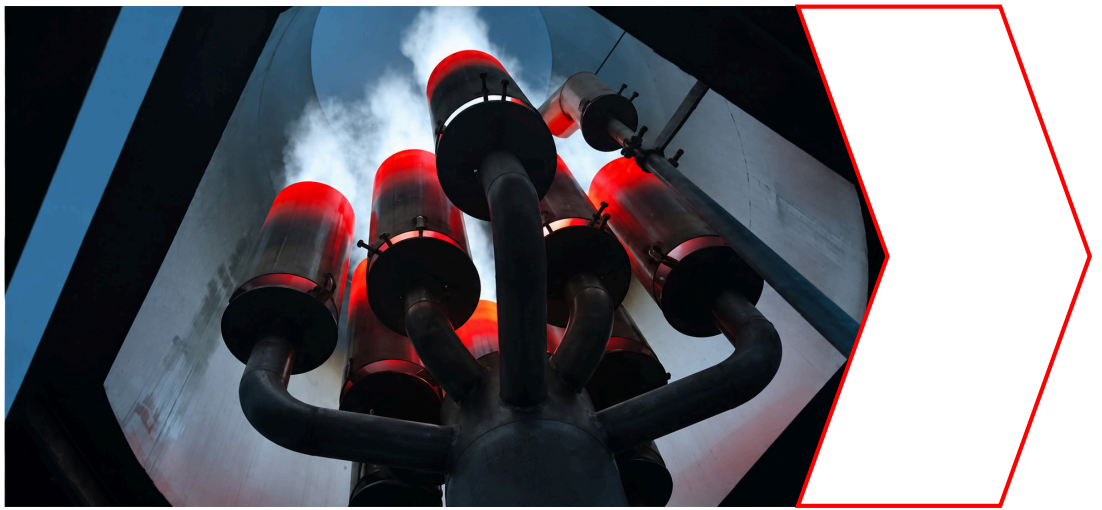
Dans le liquéfacteur, le CO2 se condense tandis que les gaz non condensables restent gazeux. Oxygène, méthane et azote sont retirés dans une colonne de stripping. Le CO2 liquide pur rejoint une cuve isolée. De qualité alimentaire, il convient aux aliments, boissons gazeuses, installations frigorifiques et serres. Sa récupération apporte une source de revenus supplémentaire.

Remplissage de CO2

Le CO2 liquide alimente une pompe de surpression adaptée au remplissage de bouteilles, citernes ou réservoirs. La bouteille refroidit rapidement et prend du poids. Le système mesure le poids à 0,01 kg, la pression, le débit et la température. À la masse nominale, par exemple 6, 10, 20 ou 30 kg, la pompe passe en appoint lent pour maintenir le CO2 liquide. L'excès gazeux est évacué par la ligne d'évaporation ; la masse et la température se stabilisent. Le remplissage doit rester à 67-75% pour permettre la dilatation thermique.

Caractéristiques techniques

Débit de CO2 :	1940 m ³ /h
Capacité de liquéfaction :	3880 kg CO2/h
Pureté du CO2 :	99%
Quantité :	1 unité(s)



Torchère à biogaz (BF-01, BF-02)

La torchère assure la combustion complète, temporaire ou périodique, du biogaz lorsqu'il ne peut pas être valorisé en énergie. Le système comprend un brûleur et des auxiliaires. Le brûleur fonctionne par injection et comporte une buse avec injecteur et réglage de l'air, un tube de protection de flamme, des raccords et une commande. L'ensemble de combustion est en acier inoxydable.

La structure porteuse soutient le brûleur et le tube vertical. Le coffret de commande fixé à cette structure contient tous les éléments de surveillance et de commande de l'allumage et de la flamme.

Caractéristiques techniques

Débit de biogaz:

2500 m³/h

Pression:

min. 10 mbar-

max. 60 mbar

Quantité :

2 unité(s)

Alimentation en eau et assainissement



Les systèmes fournissent l'eau pour les besoins sanitaires, industriels et incendie. Ils utilisent des pompes centrifuges monocellulaires autoamorçantes. Des pompes évacuent les eaux de procédé, domestiques et, au besoin, pluviales. Deux ou trois pompes en parallèle assurent la surpression du réseau.

Caractéristiques techniques

Station de pompage d'eau

Puissance du moteur:	7,5 kW
Débit:	40 m ³ /h
Pression:	20 m

Station de pompage incendie

Puissance du moteur:	7,5 kW
Débit:	38 m ³ /h
Pression:	25 m

Pompe de drainage

Puissance du moteur:	1,5 kW
Débit:	10 m ³ /h
Pression:	15 m

Système d'alimentation en air

L'alimentation en air maintient le dôme protecteur par une fixation pneumatique à la pression requise.

Caractéristiques techniques

Consommation d'air:	200 l/min
Pression maximale:	8 bar
Volume du réservoir d'air:	9,5 l



Système de chauffage

Le chauffage compense les pertes thermiques et maintient une température constante. Il comprend pompes de circulation, conduites et tubes chauffants. La chaleur provient de cogénération ou d'une autre source externe. Le fluide est une solution aqueuse de propylène glycol. Une chaudière électrique assure le réchauffage.

Caractéristiques techniques

Pompe de circulation

Puissance du moteur:	3,5 kW
Débit:	28 m ³ /h
Pression:	1 bar

Pompe de circulation

Puissance du moteur:	2,0 kW
Débit:	12 m ³ /h
Pression:	1 bar

Station de pompage de propylène glycol

Puissance du moteur:	0,77 kW
Débit:	1,0 m ³ /h
Pression:	4 bar

Chaudière électrique

Puissance installée, kW:	Selon calcul
Quantité :	1 lot



Aéroréfrigérant (refroidissement du substrat) (DC-01 ... DC-04)

La digestion active et le régime thermophile peuvent provoquer un autoéchauffement vers +48 à +50°C. Le refroidissement évite une hausse incontrôlée au-delà de la plage de service. Le même échangeur spiralé sert au chauffage et au refroidissement ; le circuit est commuté vers l'aéroréfrigérant.

Caractéristiques techniques

Puissance thermique :	100 kW
Puissance électrique :	4 kW
Quantité :	5 unité(s)



Automatisation

L'automatisation surveille et régle le fonctionnement et limite les dommages. En urgence, notamment lors d'une coupure électrique, l'installation passe automatiquement en mode sûr. Le suivi en temps réel détecte et corrige les écarts, optimise l'exploitation et réduit les coûts. Les paramètres sont enregistrés en continu.

Le système comprend armoire, capteurs et actionneurs. L'armoire modulaire abrite en haut l'alimentation et les processeurs central et tampon, puis les entrées-sorties distribuées Simatic ET200S, et en bas les relais et bornes des actionneurs. Un opérateur commande toute l'installation.

Caractéristiques techniques

Tableaux VRU-1, 2, 3

Automate : Siemens CPU315-DP2

Périphérie : Simatic ET200S

Écran tactile OP277

Communication : PROFIBUS et MPI

Interface : RS-485

Commande : Simatic Step7



Jeu de capteurs

Les capteurs mesurent température, pression, niveau et humidité et transmettent valeurs et signaux à l'écran de l'opérateur.

Types de capteurs

Capteur de conductivité
Capteur de pression / niveau
Capteur ultrasonique
Capteur de pression du gaz



Groupe électrogène diesel

Le groupe diesel fournit l'énergie principale ou de secours. Son moteur respecte les normes internationales de qualité et d'environnement et possède des régulateurs mécaniques et électroniques de vitesse. L'alternateur supporte 300% du courant de court-circuit pendant 20 secondes sans interruption. Le capot insonorisé tout temps et la régulation thermique facilitent le démarrage par tous les temps.

Les avantages sont fiabilité, faible bruit, sécurité accrue et filtration du carburant en trois étapes. Les options incluent LiveLink à distance, insonorisation renforcée, mobilité et différentes capacités de réservoir. Le préchauffage facilite le démarrage par gel. La régulation automatique AVR protège contre surcharges et surtensions.

Caractéristiques techniques

Puissance nominale:	1000 kW
Tension nominale:	230/400kW
Cylindrée:	35,8 l
Consommation de carburant (charge 75%):	172l/h
Dimensions (H x L x l)	2600x 6060x 2440mm
Quantité :	1 unité(s)



Laboratoire

Le suivi des matières premières et de la digestion est essentiel à l'efficacité de l'installation. Le laboratoire détermine la matière sèche des intrants et du digestat, le rapport entre acides organiques volatils et carbone inorganique total (FOS/TAC), le degré de digestion et la production de biogaz. Il permet également d'évaluer l'efficacité du séparateur.

Équipements

Balance analytique
 Analyseur d'humidité
 Titrateur automatique
 pH-mètre de laboratoire
 Centrifugeuse
 Jeu de fioles

Nomenclature des équipements



N°	Désignation Équipements	Technique caractéristique	Quantité
1	Trémie d'alimentation -1,2,3,4	V=20 m³	4
1.1	Trémie d'alimentation		4
1.2	Jeu de vis	lot	4
2	Doseur de granulés pour convoyeur	V=200 m³	1
1.1	Trémie d'alimentation		1
1.2	Jeu de vis	lot	1
3	Agitateur immergé pour cuves de réception et de filtrat	N=15 kW	1
3.1	Motoréducteur étanche		1
3.2	Hélice en acier résistant à l'usure		1
3.3	Mécanisme de réglage de l'agitateur		1
3.4	Fixation du moteur		1
3.5	Fixations		1
4	Agitateur vertical du digesteur-1,2,3,4	N=15 kW	20
4.1	Motoréducteur étanche		20
4.2	Hélice en acier résistant à l'usure		20
4.3	Arbre adapté à la hauteur du digesteur		20
4.4	Pales		20
4.5	Variateur de fréquence		20
4.6	Fixation du support inférieur de l'agitateur		20
5	Agitateur à pales du post-digesteur	N=15 kW	5
6	Soupape de surpression/dépression		5
7	Hublots avec projecteurs	lot	5
7.1	Hublot RD300 (fixations et mastic)	Ø300	10
7.2	Projecteur (fixation incluse) VISULUX UL50-G-H	230V, 50W, IP65	5
8	Pompe de substrat liquide	30-40 m³/h N=11.0 kW	1

N°	Équipement	Caractéristiques	Quantité
9	Pompe de substrat vers le post-digester	60 m³/h N=18.0 kW	4
10	Pompe d'alimentation du séparateur	60 m³/h N=18.0 kW	4
11	Séparateur	N=7.5 kW	4
11.1	Corps		4
11.2	Raccord de substrat 4 pouces		4
11.3	Moteur et réducteur	N=7,5 kW	4
11.4	Châssis		4
11.5	Vis		4
11.6	Tamis filtrant		4
12	Pompe de filtrat	40 m³/h N=11 kW	1
13	Gazomètre PVC H/D = 1/2	3826 m³	1
13.1	Dôme protecteur	Ø26 m	1
13.2	Membrane intérieure PELD		1
13.3	Soufflante d'air	16A, 0,5kW	1
13.4	Fixations		1
13.5	Soupape de surpression/dépression		1
13.6	Indicateur de remplissage		1
13.7	Accessoires		1
13.8	Soupape de sécurité		1
14	Refroidissement du biogaz	2200 m³/jour	4
14.1	Groupe froid		4
14.2	Échangeur thermique		4
14.3	Réservoir de propylène glycol		4

N°	Équipement	Caractéristiques	Quantité
15	Système de désulfuration		1
15.1	Générateur d'oxygène, lot	80 l/min	1
15.2	Filtre à charbon	500kg	2
16	Surpresseur de biogaz	Q=4500m³/h, H=250mbar, N=55kW	2
17	Compteur électromagnétique de biogaz		2
18	Torchère à biogaz	2500 m³/h	2
19	Équipements gaz	lot	1
19.1	Pompe de drainage à flotteur	DN=50, Q=1m³/h, H=13 m	2
20	Système de chauffage	lot	1
20.1	Vase d'expansion	V=1000 l,P=6Bar T=120°C	1
20.2	Pompe de circulation du fluide	Q=30 m³/h, H=1 bar	1
20.3	Alimentation en propylène glycol	Q=1,0 m³/h, H=4 bar	1
20.4	Pompe de circulation vers digesteurs	Q=18 m³/h, H=1.1 bar	5
20.5	Chaudière électrique	lot	1
21	Alimentation en eau et assainissement	lot	1
22	Automatisation et équipements électriques	lot	1
22.1	Tableau d'arrivée VRU-1		1
22.2	Tableau d'arrivée VRU-2		1
23	Capteurs (lot)		1
23.1	Capteur de pression du gaz 0,025 bar		5
23.2	Capteur de pression du gaz 0,4 bar		5

N°	Équipement	Caractéristiques	Quantité
23.3	Capteur de pression du substrat 1,0 bar		5
23.4	Capteur de pression du substrat 2,5 bar		5
23.5	Sonde de température		5
23.6	Doigts de gant		5
23.7	Sonde du circuit de chauffage		5
23.8	Capteur de pression du substrat		6
23.9	Capteur de pression du substrat		6
23.10	Capteur de pression du fluide		6
23.11	Capteur de pression immergé		1
23.12	Capteur d'humidité et de température du gaz	SEN 3276 B065 G1/2 6Bar	5
23.13	Sonde de température	ESFTF-I	5
24	Aéroréfrigérant 100kW Puissance thermique		5
25	Unité de biométhane	lot	1
26	Station de compression du biométhane	lot	2
27	Laboratoire	lot	1
28	Groupe électrogène diesel 1 MW	lot	1

Annexes



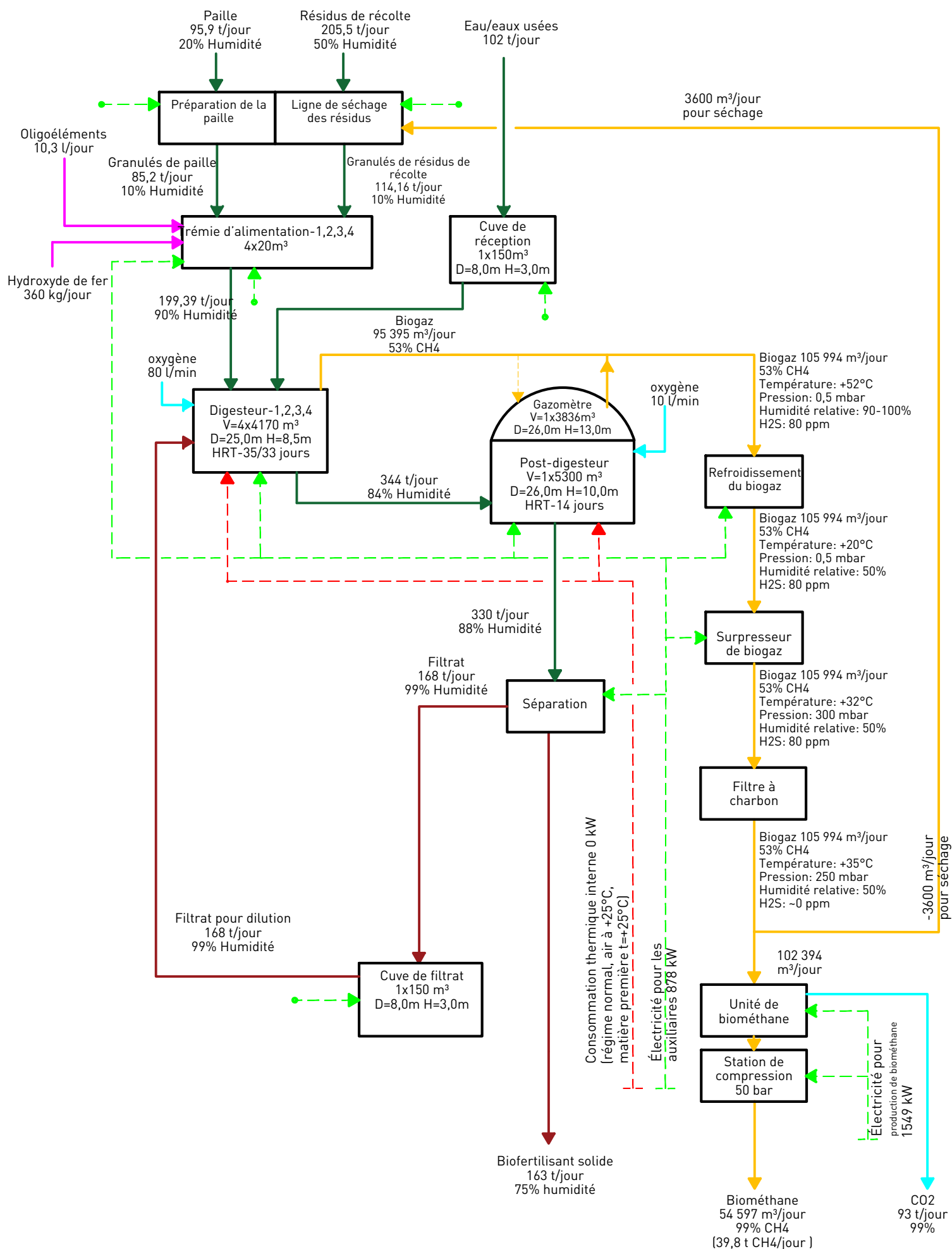
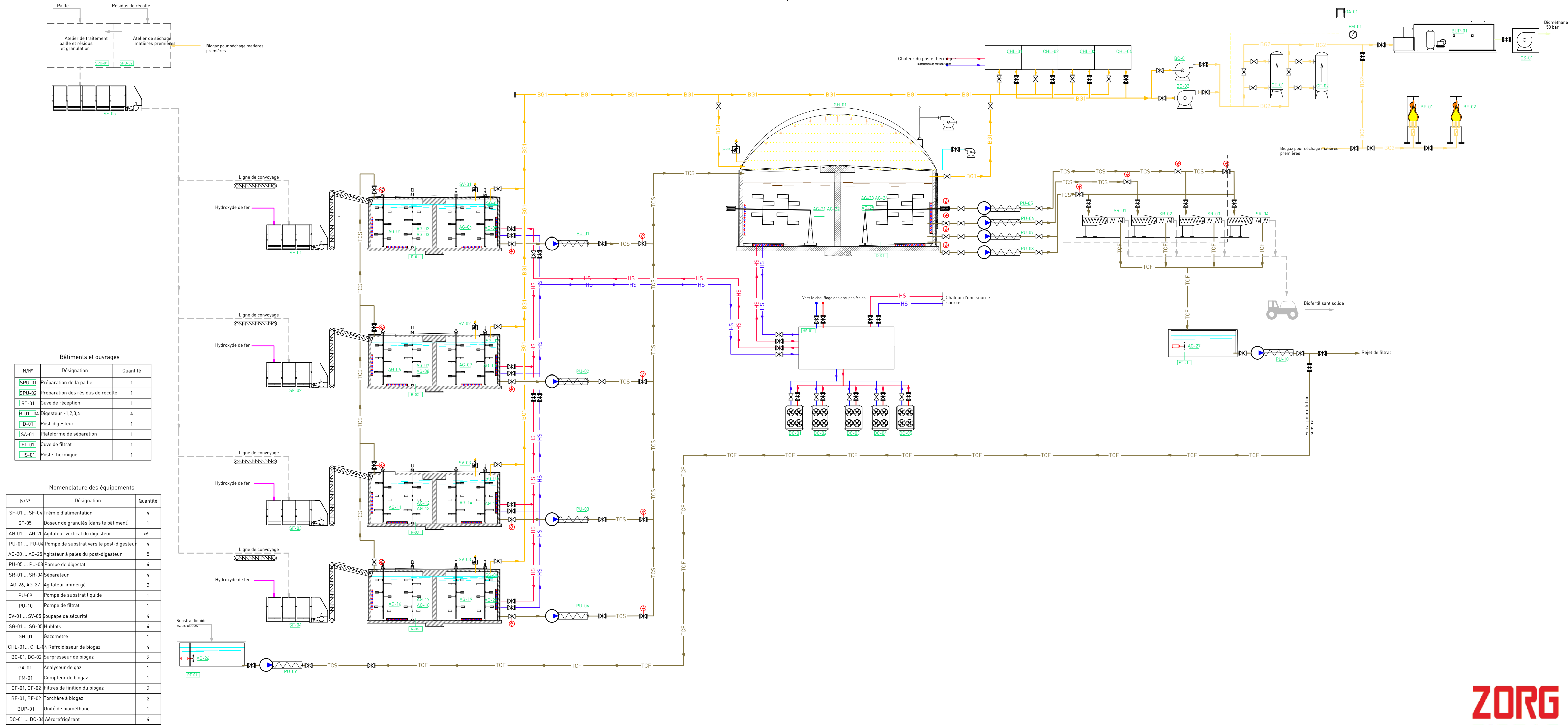
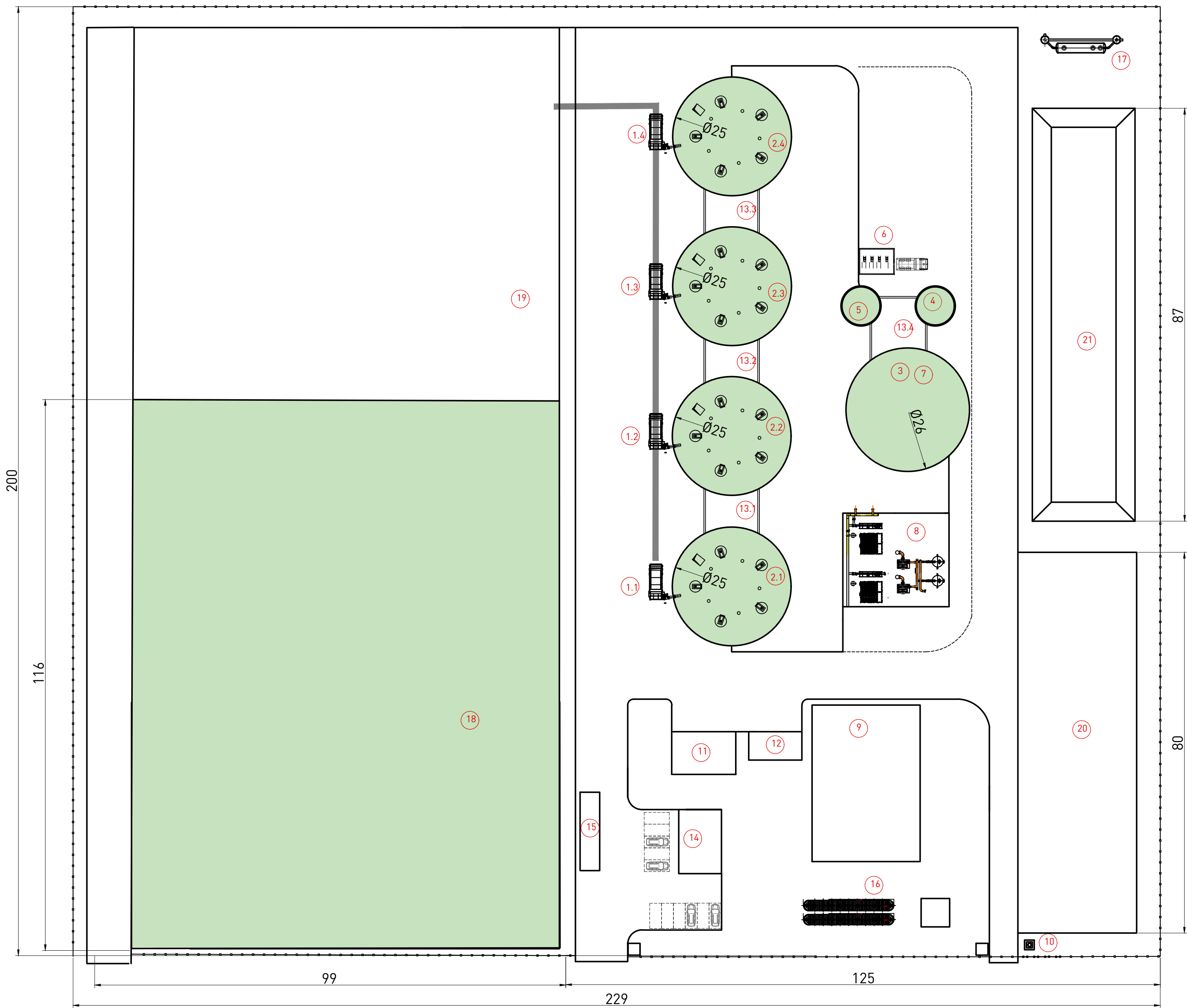


Schéma de procédé



Plan d'implantation



Légende

N/N°	Désignation	Note
1.X	Trémie d'alimentation-1,2,3,4	
2.X	Digesteur-1,2,3,4	
3	Post-digesteur	
4	Cuve de réception	
5	Cuve de filtrat	
6	Plateforme de séparation	
7	Gazomètre	
8	Zone de traitement du biogaz	
9	Unité de biométhane	
10	Torchère à biogaz	
11	Bâtiment administratif	
12	Poste de transformation	
13.X	Local technique	
14	Magasin de pièces	
15	Pont-bascule	
16	Réserve d'eau incendie	
17	Traitement local des eaux pluviales	
18	Aire de stockage de paille	
19	Traitement de la paille et des résidus	
20	Stockage d'engrais solides	
21	Lagune	

Annexe 4

Installation de méthanisation					
Équipements	Puissance (kW)	Qté unités	Puissance totale (kW)	Heures de fonctionnement par jour	Électricité consommée (kWh/jour)
Préparation des matières premières	200,0	1	200,0	16,0	3200,0
Ligne de séchage des résidus	110,0	1	110,0	16,0	1760,0
Doseur de granulés 200 m³	47,0	1	47,0	6,0	282,0
Convoyage des matières premières	44,0	1	44,0	6,0	264,0
Trémie d'alimentation-1,2,3,4 V=20 m3	18,0	4	72,0	6,0	432,0
Jeu de vis	23,0	4	92,0	6,0	552,0
Agitateur vertical du digesteur - 1,2,3,4	15,0	20	300,0	16,0	4800,0
Agitateur à pales du post-digesteur	15,0	5	75,0	16,0	1200,0
Agitateur immergé de la cuve de réception	15,0	1	15,0	8,0	120,0
Agitateur immergé de la cuve de filtrat	5,5	1	5,5	8,0	44,0
Refroidissement du biogaz	56,0	4	224,0	24,0	5376,0
Surpresseur de biogaz	55,0	2	110,0	12,0	1320,0
Générateur d'oxygène	5,5	1	5,5	8,0	44,0
Pompe de substrat liquide	11,0	1	11,0	0,5	5,5
Pompe de substrat vers le post-digesteur	18,0	4	72,0	4,0	288,0
Pompe de digestat	18,0	4	72,0	6,0	432,0
Séparateur 1,2, 3,4	7,5	4	30,0	6,0	180,0
Pompe de filtrat	18,0	1	18,0	3,0	54,0
Compresseur de fixation pneumatique	1,5	2	3,0	1,0	3,0
Soufflante de double membrane	1,0	2	2,0	24,0	48,0
Aéroréfrigérant	4,0	4	16,0	24,0	384,0
Pompe de circulation du fluide caloporteur systèmes refroidissement	0,8	4	3,0	24,0	72,0
Pompe de circulation du fluide caloporteur systèmes refroidissement	2,0	4	8,0	24,0	192,0
Pompe de circulation du fluide caloporteur systèmes refroidissement	0,1	1	0,1	24,0	1,9
Pompage du propylène glycol	0,8	1	0,8	0,5	0,4
Pompe de drainage	1,0	2	2,0	0,5	1,0
Éclairage extérieur Installation de méthanisation	1,2	1	1,2	8,0	9,6
Éclairage du hublot du digesteur	0,1	4	0,3	0,5	0,2
Éclairage du tableau électrique	0,1	1	0,1	0,5	0,1
Puissance installée totale, kW			1138		
Consommation totale, kWh/jour					21066
Puissance totale consommée, kW					878

Unité de production de biométhane					
Équipements	Puissance (kW)	Qté unités	Puissance totale (kW)	Heures de fonctionnement par jour	Électricité consommée (kWh/jour)
Unité de biométhane	1148,3	1	1148,3	24,0	27558,6
Station de compression du biométhane 50 bar	400,3	1	400,3	24,0	9608,0
Puissance installée totale, kW			1548,6		
Consommation totale, kWh/jour					37167
Puissance totale consommée, kW					1549

Consommation totale, kW					2426
-------------------------	--	--	--	--	------

Prix : méthanisation de paille, 20 millions de m³ de biométhane/an

Pos.	Désignation	Qté	Prix unitaire, EUR	Prix total, EUR	
1	Dossier de conception	1	118.300	118.300	
2	Supervision des travaux	1	60.000	60.000	
3	Mise en service et formation	1	60.000	60.000	
4	Hébergement et déplacements	1	40.000	40.000	
5	Livraison des équipements (camions)	25	8.000	200.000	
6	Convoyeur à bande	1	245.000	245.000	
7	Trémie d'alimentation-1,2,3,4 (V=20m³)	4	95.000	380.000	
8	Jeu de vis	4	115.000	460.000	
9	Trémie d'alimentation-4 (V=200m³)	1	235.000	235.000	
10	Jeu de vis	1	125.000	125.000	
11	Agitateur vertical du digesteur-1,2,3,4 15 kW	20	44.800	896.000	
12	Châssis d'agitateur vertical, poste 12	20	4.900	98.000	
13	Agitateur à pales du post-digesteur 15 kW	5	44.800	224.000	
14	Châssis d'agitateur, poste 14	5	4.900	24.500	
15	Pompe de substrat liquide 11kW	1	20.300	20.300	
16	Pompe de substrat vers le post-digesteur 18 kW	4	25.200	100.800	
17	Pompe de digestat 18 kW	4	25.200	100.800	
18	Séparateur 7.5 kW	4	40.600	162.400	
19	Pompe de filtrat 11kW	1	20.300	20.300	
20	Soupape de surpression/dépression	4	5.600	22.400	
21	Hublots avec projecteurs	4	4.900	19.600	
22	Alimentation en eau et assainissement	1	63.910	63.910	
23	Système de chauffage	1	67.900	67.900	
24	Aéroréfrigérant (refroidissement du substrat)	5	25.900	129.500	
25	Automatisation et armoire électrique	1	590.000	590.000	
26	Vannes motorisées	22	6.300	138.600	
27	Capteurs (lot)	7	25.000	175.000	
28	Gazomètre D26m 1/2D	2	81.000	162.000	
29	Équipements gaz (vannes, robinets et raccords)	1	101.500	101.500	
30	Groupe froid (Refroidissement du biogaz) 2200 m³/h	4	87.500	350.000	
31	Surpresseur de biogaz 4500m³/h	2	38.500	77.000	
32	Filtre à charbon actif 500 kg	2	27.300	54.600	
33	Torchère à biogaz 2500 m³/h	2	127.400	254.800	
34	Analyseur de gaz	2	18.900	37.800	
35	Unité de biométhane	1	3.710.000	3.710.000	
36	Station de compression du biométhane 50 bar	2	350.000	700.000	
37	Laboratoire	1	19.600	19.600	
38	Travaux et montage des équipements et réseaux	1	3.700.000	3.700.000	client
	Total périmètre ZORG, EUR			10.244.610	
Total Zorg + Client, EUR				13.944.610	

Calendrier du projet et paiements

Année														
Mois	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12		
Collecte des données initiales														
Études		50%			50%									
Accords et permis														
Équipements						30%	20%	20%		30%				
Livraison Équipements														
Unité de biométhane			30%							70%				
Livraison du module														
Construction														
Supervision des travaux					50%					50%				
Démarrage et mise en service												50%		50%

Contrats

Le projet est réalisé au titre de plusieurs contrats parallèles.

- Dossier de conception
- Fourniture des équipements
- Supervision des travaux
- Démarrage et mise en service

Exclusions du périmètre de fourniture

- 1) Études topographiques et géologiques : 3 000-7 000 EUR.
- 2) Transformateur et ligne électrique externe pour le démarrage et le chantier, puis 2 500 kW en exploitation normale.
- 3) Routes extérieures.
- 4) Eau temporaire pour le chantier et les essais hydrauliques : 5 300 m³. Une eau industrielle non salée de rivière, lac ou puits convient.
- 5) Inoculum de démarrage : substrat d'une autre installation, lisier ou boues d'épuration. Le client le fournit en une campagne de 1-2 semaines pour remplir 15-20% du digesteur (800 m³). Le reste est rempli avec l'eau indiquée ci-dessus.
- 6) Engins de transport du fumier et de la paille entre stockage, préparation et alimentation : chargeuse et tracteur.
- 7) Charbon actif : 1,0 t pour deux ans $\times$ 4 800 EUR/t = 4 800 EUR.
- 8) Concentré FeO(OH) : 132 t/an $\times$ 800 EUR/t = 105 600 EUR.
- 9) Oligoéléments : 3 760 l/an $\times$ 25 EUR/l = 94 000 EUR.
- 10) Eau déminéralisée de chauffage : 5 t.
- 11) Pièces de rechange pour deux ans : 280 000 EUR.