COGÉNÉRATION BIOGAZ : COMMENT OPTIMISER LE MODÈLE ÉCONOMIQUE ?

Lionel TRICOT, chargé de développement à Rhônalpénergie-Environnement

Avec plus de 1.800 mégawatt électrique (MWé) de puissance installée de cogénération en France dont 150 MW pour le biogaz et plus de 11% de la production d'électricité en Europe, cette filière de production est assurément mature. Le développement attendu des unités de méthanisation dont la proportion des moteurs de cogénération est de plus de 95%, réserve un avenir radieux pour cette technologie. De quelques kilowatts à plusieurs dizaines de mégawatts, de multiples process sont disponibles avec un degré de fiabilité et d'efficacité important (les premiers moteurs à gaz en obligation d'achat ont été mis en service il y a plus de 20 ans). Néanmoins, comme tout procédé industriel, ces installations demandent une conduite et une exploitation adaptées qui passent par une méthodologie mêlant technique, économie, organisation et contrat.

Il existe différents procédés permettant de produire de l'électricité à partir de la combustion de biomasse : des moteurs et turbines à gaz, des turbines à vapeur, Cycle organique de Rankine (ORC), des moteurs Stirling, moteurs à vapeur, … Quelle que soit la technique, la cogénération nécessite un entretien programmé et demande au maître d'ouvrage, une véritable polyvalence afin d'assurer l'exploitation. Celle-ci concerne de multiples domaines tels que la mécanique, l'électricité, la thermique, l'informatique,… et demande une gestion nécessitant de la planification, des astreintes et du contrôle régulier. Cette organisation est indispensable afin d'assurer une disponibilité technique maximale et ainsi optimiser les recettes de production. Les rendements, le temps de fonctionnement annuel, la production réelle injectée sur le réseau, le taux d'oxydes d'azote (Nox) et de monoxyde de carbone (CO) dans les gaz d'échappement sont autant d'indicateurs qui permettent de qualifier les équipements de production et qui vont garantir l'optimisation du site et assurer la rentabilité de l'opération.

Des enjeux économiques associés à l'optimisation de la production

Le modèle économique des cogénérations biogaz dépend du contrat d'obligation d'achat de l'électricité. En effet, 75 à 90% du chiffre d'affaires provient de la production d'électricité. La structure tarifaire de ce contrat implique un fonctionnement annuel (avec tout de même la déclaration d'une puissance d'injection sans plancher de production) et une valorisation optimisée d'énergie (parts d'électricité et de chaleur autoconsommée et/ou revendue). Même si ce productible dépend du rendement de la cogénération, il provient avant tout de l'efficacité énergétique et biologique du système et de sa disponibilité technique, ces paramètres sont corrélés et indissociables. Le chiffre d'affaires annuel sera donc dépendant de l'optimisation énergétique du procédé, ce qui impliquera la maîtrise de l'autoconsommation et des usages énergétiques, (le mode de calcul est décrit dans le contrat d'obligation d'achat BG11, le paramètre principal étant la valorisation effective de la chaleur). L'optimisation du débit de biogaz et de sa qualité via des traitements adéquats sera aussi déterminante, le rendement du moteur fluctuera selon les variations de débit et sa qualité impactera directement les fréquences d'entretien et l'usure des pièces. Enfin, la maîtrise de la disponibilité technique dont le taux réel va dépendre de la maintenance globale du site (présence de pièces détachées, astreinte,...), sera essentielle. Sur une cogénération biogaz de 500 kWe, le chiffre d'affaires (CA) potentiel serait de 680 k€ par an. Il ne sera assuré qu'en respectant quatre paramètres importants que sont la disponibilité, l'efficacité biologique (EB), le rendement électrique (rend) et l'efficacité énergétique (EE) comme décrit sur le schéma (fig 1). La représentation (fig 2) retrace plusieurs cas de figure de diminution du CA : perte de 10% de disponibilité (-9% de CA), diminution de 5% du rendement électrique (-15% de CA), et absence de valorisation de chaleur (-20% de CA). Aucun projet ne peut supporter une telle baisse de recette sur la durée. Pour obtenir un fonctionnement optimal d'une installation, il faudra assurer une conduite journalière et une exploitation en suivant un plan de maintenance rigoureux, détaillé et lié à la durée de vie des équipements. Une vision globale est également nécessaire afin de corréler toutes les opérations de maintenance et des usages énergétiques du site.

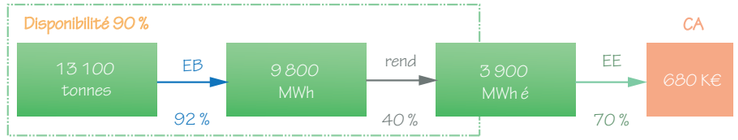

Fig 1 : Décomposition des paramètres clés pour assurer le CA

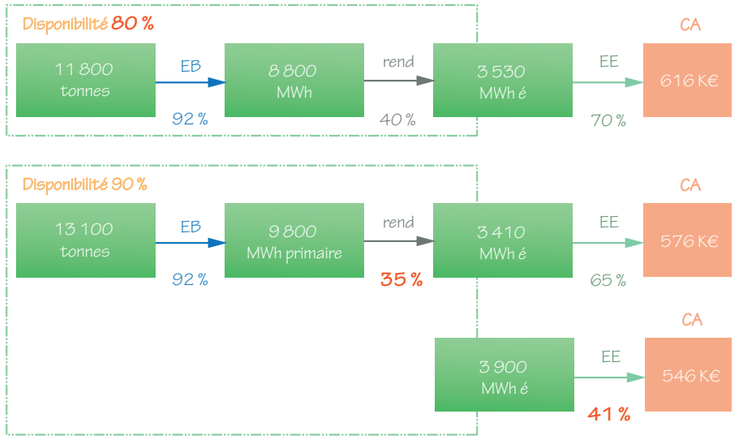

Fig 2 : Impact de la variation de paramètres sur le CA

La maintenance du moteur de cogénération, l'élément clé de la rentabilité

Le moteur de cogénération a en moyenne une durée de vie de 60.000 heures, soit environ 7 à 8 années de fonctionnement dans le cadre du biogaz (fonctionnement en continu environ 8.000 heures par an). Pendant cette période, il est nécessaire de l'entretenir régulièrement pour garantir ses performances et la sécurité de l'installation. Dans la plupart des cas, l'exploitant effectue certaines opérations simples, comme la conduite journalière (relevés de compteurs et contrôles visuels), les vidanges et le changement des filtres à huile, des filtres à air ou encore des bougies. Il reçoit systématiquement une formation pour ces opérations mêlant mécanique, thermique, hydraulique et informatique. Il peut aussi décider de les sous-traiter à un prestataire spécialisé. En revanche, il doit obligatoirement sous-traiter les opérations de maintenance plus complexes nécessitant un outillage et des compétences particulières, comme des analyses ou paramétrages sur le moteur (endoscopie, réglage des culbuteurs, du mélangeur, etc.) ou des interventions sur des pièces maîtresses (l'alternateur, les culasses, le vilebrequin, etc.). Il est conseillé à l'exploitant d'établir un contrat de maintenance sur la durée de vie du moteur avec le prestataire où sont précisés notamment la durée du contrat, le coût des prestations qui sera lié à la quantité d'énergie produite, les limites de prestation, les délais d'intervention...

Etablir un contrat est doublement avantageux pour l'exploitant du site : en cas de panne, c'est la garantie qu'un technicien va intervenir rapidement, il n'y a donc pas d'interruption prolongée du moteur, c'est aussi le moyen pour lui de maîtriser ses dépenses annuelles, car ce qu'il doit payer est prévu dans le contrat. Un contrat se négocie lors de la consultation des entreprises (DCE), lors des études de conception (Un montage de projet passent successivement par les étapes : d'opportunité, faisabilité, conception, construction, et exploitation formation).

Afin d'obtenir un outil de production adapté à ses besoins, le maître d'ouvrage doit négocier ou définir plusieurs points clés :

- Les garanties des équipements
- Les garanties de performance
- Le protocole de réception
- Le plan de maintenance
- Une formation adaptée
- La liste des pièces détachées minimum et leur prix
- Le contrat d'assistance technique et biologique

Plusieurs types de contrat sont disponibles et permettent de plus ou moins sécuriser la production, de l'intervention au cas par cas au contrat lié à un plan de maintenance (coût à l'heure de fonctionnement ou au MWh) en passant par le contrat d'un an à tacite → →

→ → reconduction forfaitaire. Sachant que le contrat d'obligation d'achat de l'électricité produite par la cogénération biogaz est de 15 ans (soit 120.000 h), il est important de planifier la rénovation du moteur (dit overhaul) sur l'horizon économique du projet Pour cela il faut prévoir un réinvestissement à l'année 8 (et éventuellement à la fin du contrat initial en cas de poursuite) ou une provision annuelle pour assurer cette rénovation.

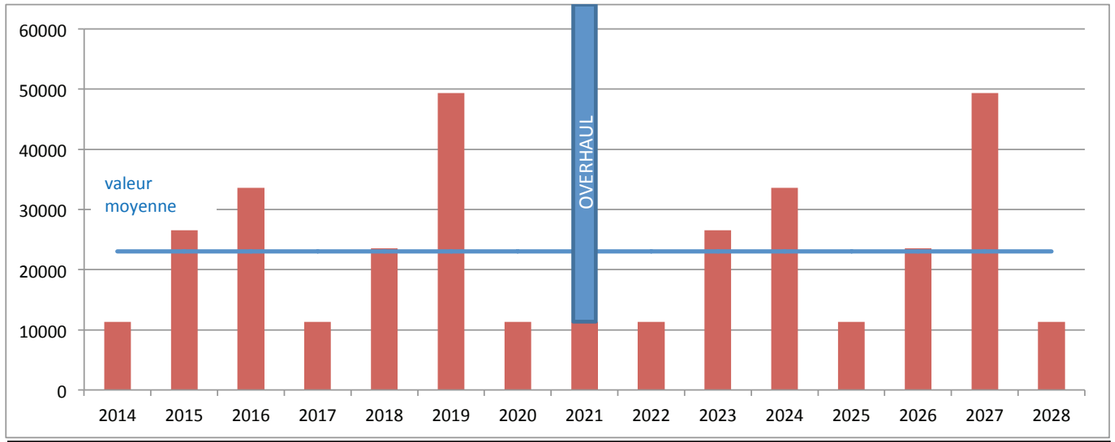

Fig 3 : Répartition des charges annuelles d'exploitation en euros

Il y a plusieurs types de contrat de maintenance sur les moteurs qui impliquent une répartition des interventions différentes :

- "Cas par cas" : intervention forfaitaire et sans contrat, les coûts sont variables selon le type d'intervention et difficilement planifiables sur une année.
- Contrat type "préventif" : la maintenance préventive qui va inclure toutes les maintenances prévues dans le plan de maintenance simple du constructeur de la machine à l'exclusion de la maintenance générale des 60.000 heures.
- Contrat type "curatif" : ce type de contrat comprend la maintenance préventive et la téléassistance. La maintenance curative permet la prise en charge de toutes les interventions consécutives à un arrêt moteur nécessitant le changement d'une pièce détachée du groupe (hors bougies, filtres). Ce type de contrat est assorti d'une garantie de résultat, portant sur la disponibilité de la machine.
- Contrat type "garanties" : ce type de contrat comprend la maintenance préventive, la téléassistance, le curatif, la garantie de disponibilité. Il inclut aussi une assurance bris de machine et couvre les pertes d'exploitation (souvent plafonnées).
- Contrat type "full" : comprend toutes les prestations du contrat "garanties" ainsi que la conduite, incluant plusieurs visites par semaine, des réglages du moteur et la réalisation des vidanges.

Contrat type : des clauses génériques indispensables

Un contrat est très différent d'un constructeur à l'autre, il faut veiller à ce qu'il comporte des clauses essentielles (notamment durée, coût et formule de révision, responsabilité et limite de prestation, objectifs de performance, assurance, pénalités, équipement associé, réception des ouvrages, formation, mais également en annexe, la liste des services et le plan de maintenance). Certains éléments sont à maîtriser afin d'obtenir un niveau de prestation élevé tout en garantissant une production optimisée chaque année. Cela permet de consolider le compte d'exploitation prévisionnel, ce qui satisfera le maître d'ouvrage et l'opérateur bancaire associé. Un contrat d'un an avec tacite reconduction est fréquemment proposé. Il est important de privilégier un contrat lié à un plan de maintenance de durée longue (7, 8 ou 15 ans) afin de bénéficier d'un coût lissé sur la durée. Le prix va dépendre du contrat et de sa durée. Le prestataire doit proposer un prix lié au fonctionnement du moteur (€/h ou €/MWh). A titre d'exemple sur un moteur de 500 kWé, les charges d'exploitation sur 15 ans seront très variables (de 11 k€/an à 49 k€/an) dans le temps, selon l'usure de la machine. Seul un coût lié à la production permet de les lisser (23 k€/an hors overhaul) et d'assurer une meilleure maîtrise de son compte d'exploitation (fig 3).

Ce prix sera révisable selon une formule d'actualisation qui modifiera le prix annuellement. Il faut veiller à ce que les indices utilisés soient connus et maîtrisés. Idéalement ils seront proches de ceux utilisés pour l'obligation d'achat de l'électricité afin d'éviter les écarts défavorables dans le temps. Il est important de fixer les limites d'intervention entre le prestataire et le maître d'ouvrage et de déterminer les engagements de chacun.

Les obligations du prestataire :

- Les engagements en termes de résultat : taux de disponibilité, puissances fournies, consommations, émissions,…
- Les engagements en termes de moyen : délais d'intervention, fourniture des consommables sur place (bougies, huile, kit,…)
- Assistance téléphonique (supervision et interventions)

Les obligations du maître d'ouvrage :

- Conduite de l'installation avec inspection quotidienne
- Garantie de l'accessibilité de l'installation
- Fournir du biogaz en quantité et en qualité
- Informer le prestataire avant toutes modifications et de toutes anomalies de fonctionnement

Les équipements doivent être clairement détaillés, les périodes de garantie bien définies et clairement mentionnées selon le type d'équipement. Pour la performance des installations, cela peut prendre plusieurs formes : l'engagement sur une disponibilité du moteur (90 à 93%), sur un rendement électrique nets d'auxiliaires (36 à 39%) ou sur un système de bonus/malus de production avec intéressement (partage du dépassement avec le prestataire ou versement d'une compensation). Une assurance "Bris de Machine" est souhaitable ainsi qu'une "Perte d'Exploitation". Ces éléments peuvent être inclus dans le contrat avec le prestataire ou pris en charge dans le contrat général d'assurance du process de méthanisation. Des équipements de désulfuration et de refroidissement assurent un gaz de qualité et une fréquence de maintenance moindre. Ce poste est souvent négligé par les maîtres d'ouvrage, pourtant il est le garant de la bonne maîtrise des coûts d'exploitation dans le temps. Le taux de sulfure d'hydrogène (H2S) doit être bas (moins de 100 ppm) et régulier, la température de gaz doit être comprise en 5 et 10°C en permanence. Sur certain contrat, le coût de maintenance est lié au taux d'H2S (augmentation si dépassement du seuil de 100 ppm). Ces équipements peuvent être fournis voire exploités par le prestataire. La procédure de réception des équipements doit être définie par écrit sous forme de protocole annexé au contrat. La validation de la réception par les parties permettra le transfert de propriété. C'est une étape sous-estimée qui pourtant, est une condition de succès d'un projet. La validation de → →

→ → l'atteinte de la puissance nominale permet de maîtriser un des risques identifiés sur un compte d'exploitation prévisionnel, ce qui peut avoir pour conséquence l'amélioration du taux bancaire. Une formation est nécessaire pour assurer la bonne conduite des équipements (repérage des armoires, pièces de premier secours, opérations standards, contrôles visuels préventifs,…). Cette formation d'au moins deux jours dont un jour in situ, doit très clairement expliciter les parties techniques, le module de gestion (GTC) et fournir un guide de dépannage.

Ces outils sont indispensables pour minimiser le temps d'arrêt et donc assurer une bonne disponibilité. Les annexes doivent comporter un plan de maintenance et les fréquences d'intervention, des manuels techniques en français et une liste des pièces détachées avec prix et les disponibilités respectives engageantes.

	P en kW	Coût € / kW	Contrat	MODE	Ans	COUT A L'HEURE	COUT /MWh	CHARGES PAR AN	COUT MAINTENANCE 59 999 h
CAS 1	50	1780	Garanties	Heure	15	1,8	36,00 €	14 400 €	108 000 €
CAS 2	100	1650	Cas/cas	forfait	/		27,00 €	21 600 €	?
CAS 3	150	1027	Préventif	Heure	8	1,79	11,93 €	14 320 €	107 398 €
CAS 4	150	1027	Curatif	Heure	8	2,6	17,33 €	20 800 €	155 997 €
CAS 5	400	1380	Curatif	Heure	8	4,7	11,85 €	34 527 €	284 455 €
CAS 6	500	975	Garanties	Heure	7	8,9	16,89 €	71 199 €	533 991 €
CAS 7	600	913	Cas/cas	forfait	8		11,84 €	56 842 €	426 312 €
CAS 8	900	831	Curatif	Heure	8	14,65	16,88 €	115 500 €	878 985 €
CAS 9	1000	895	Garanties	MWh	15		12,42 €	105 599 €	791 993 €

Fig 4 : coût des prestations d'exploitation selon les puissances

Vers un partenariat entre le constructeur et le maître d'ouvrage

Sur un échantillon de 9 contrats sur des puissances du moteur variant de 50 à 1.000 kW et des types de prestations variables, plusieurs constats s'imposent. Tout d'abord, le plus évident, le prix des moteurs est (souvent) dégressif en fonction de sa taille passant de 1.650 à moins de 900 euros du kW installé mais selon le périmètre analysé, des différences importantes peuvent s'observer. Il faut être attentif aux équipements inclus au poste cogénération de type sécheur de gaz, traitement H2S, torchère, chaudière de complément, transformateur, réseau de chaleur, sous station,… Même si l'écart de prix peut être important, c'est surtout l'analyse en coût global qui sera pertinente. Ramené à l'horizon économique du projet, c'est le coût cumulé de la maintenance, de la rénovation et du prix initial du process qui servira de base de comparaison. Au niveau du coût d'exploitation, les prix sont "ramenés" au MWh afin de les comparer, on constate des écarts significatifs. L'élément clé sera le niveau de prestation associé en fonction du type de contrat. Les variations sont importantes, de 36 à 11,84 €/MWh, ce qui s'explique par des différences sur les durées contractuelles et le type de contrat.

La dégressivité du prix se constate également selon la puissance installée, les parties fixes, notamment le forfait de déplacement, pénalisant les plus petites installations. Cependant, on observe également des écarts de prix à puissance équivalente. Il faut être vigilant aux types de prestations et aux garanties assurées. Les cas 6 et 7 sont significatifs, bien que plus élevé, le cas 6 inclut la fourniture d'huile et des jeux de bougies, les vidanges, la garantie de performance de 93 % et une astreinte avec intervention sous 24h. Au contraire du cas 7, qui n'inclut "que" les entretiens moteur classiques sans garanties de performance, ni aucune fourniture de consommable. La question du surinvestissement initial lié aux choix de matériel doit se poser systématiquement projet par projet, s'il permet d'abaisser les coûts de fonctionnement (cas 5). Des compteurs de qualité permettent un meilleur suivi des performances et évitent les dérives, tout comme le traitement de l'H2S et de la teneur en eau du biogaz évite le vieillissement prématuré du moteur. Dans le cas 9, il est prévu la maintenance sur l'horizon économique du projet, soit 15 ans, cela permet de maîtriser l'ensemble des charges annuelles sur la cogénération. Elle inclut notamment la révision majeure des 60.000 h. C'est un point important à négocier en amont car des écarts significatifs sont observés. Dans tous les cas, il faut soit prévoir une provision annuelle pour le changement du moteur soit investir dans une rénovation en année 7 ou 8. Pour cette dernière, il est intéressant de s'interroger sur les évolutions techniques éventuelles, notamment au niveau des rendements moteur.

Une analyse technico-économique, avec le nouveau productible théorique, semble indispensable, elle permettra de définir les futures orientations. Plus généralement, la situation géographique de la société qui assurera l'exploitation du site est un facteur d'aide à la décision. Il convient de distinguer le délai de réponse (entre 4 et 8h), le délai d'intervention sur place en semaine (entre 16 et 24 h) et le délai d'intervention sur place le week-end (souvent 48h). Le fait de conjuguer la mise en place d'un stock de pièces de première urgence sur place (bougies, câbles HT, filtre à air, relais, disjoncteurs,…) au stock de pièces maîtresses du constructeur permet d'assurer un temps d'arrêt faible. De plus, le fait que les délais d'approvisionnement soient contractualisés (avec des pénalités associées) est aussi un moyen de sécuriser la production d'électricité.

Tous ces éléments doivent être annexés au contrat de maintenance. Même s'il est moins facile d'obtenir un contrat sur la durée pour des petites puissances, il y a de plus en plus de prestataires qui proposent un service complet et engageant.

Cependant, il s'agit bien de mettre en place un partenariat qu'il faut construire en prenant en compte une montée en compétence progressive du maître d'ouvrage. Un transfert de méthode et de savoir-faire doit s'opérer entre le constructeur et le maître d'ouvrage dans le but de diminuer le taux de pannes et d'indisponibilité de la machine. Une bonne conduite et une optimisation de la maintenance permettent d'abaisser le nombre d'incidents et de bris de machine, donc d'enrayer l'évolution des cotisations d'assurance sur les unités de méthanisation. La professionnalisation de la conduite et de l'exploitation des sites permettra assurément de maintenir la confiance des financeurs sur ce mode de production vertueux et soutenu par tous les pays européens pour ainsi pérenniser son développement. ●

Bibliographie :
www.cogenerationbiomasserhonealpes.org
www.raee.org