

## LA METHANISATION DANS LE TRAITEMENT DES DECHETS BIODEGRADABLES EN AFRIQUE ET DANS LES CARAÏBES

### PRESENTATION SYNTHETIQUE DE L'ETAT DES LIEUX ET DES RETOURS D'EXPERIENCES

#### Le contexte - les enjeux

La méthanisation permet de traiter des déchets biodégradables pour en obtenir de l'énergie et un amendement organique. Ce processus de digestion anaérobie (en l'absence d'oxygène) permet une valorisation énergétique par récupération du méthane (CH<sub>4</sub>) et une valorisation matière par la stabilisation des déchets organiques et la restitution partielle d'éléments fertilisants aux sols (Bayard et Gourdon, 2009). Cette technologie s'applique à un large éventail de déchets organiques, dont les déjections animales, les excréta humains, les résidus végétaux (feuilles, pelures de fruits, et autres composantes à faible teneur en lignine), les fractions fermentescibles des déchets des ménages et des industries agro-alimentaires (Singh et Sooch, 2004; Lacour et Bayard, 2011). Plusieurs procédés existent selon le type de déchets à traiter et les contextes socio-économiques, plusieurs types de procédés de méthanisation peuvent être mis en œuvre. Des procédés simples d'utilisation sont adaptés aux réalités des pays en développement (PED) pour le traitement des déjections animales et humaines et peuvent être installés au niveau des ménages. Des millions d'unités de ce type sont notamment installées depuis longtemps dans plusieurs pays d'Asie.

#### Produits de la méthanisation

##### Biogaz

Le biogaz issu de la digestion anaérobie de la matière organique est un mélange principalement composé de méthane et de dioxyde de carbone. Il peut contenir aussi quelques autres gaz à l'état de traces.

Comme source d'énergie renouvelable, il offre de nombreux avantages écologiques, se substituant aux sources d'énergie fossile ou à la surexploitation du bois. Le biogaz peut améliorer l'accès à l'énergie au niveau des communautés marginalisées, notamment en milieu rural. L'utilisation du méthane contenu dans le biogaz comme source d'énergie contribue à réduire la corvée des femmes et enfants dans certains PED, consistant en la collecte quotidienne de bois de chauffage (Walekhwa et al., 2009). La valorisation du CH<sub>4</sub> contribue à réduire certaines dépenses pour la cuisson, la production de chaleur et/ou d'électricité au niveau des ménages.

Les moteurs diesel peuvent être modifiés pour fonctionner au biogaz (Olugasa et al., 2014). Mais, il existe de plus en plus sur le marché des moteurs hybrides fonctionnant à la fois au diesel et au biogaz. Le traitement du biogaz n'est pas toujours nécessaire quand les critères de sélection et les conditions de maintenance des moteurs (changement d'huile toutes les 300 heures) sont respectés.

Les fuites ou émissions incontrôlées à l'air libre de biogaz élèvent les niveaux des risques d'intoxication (par H<sub>2</sub>S, CO, CO<sub>2</sub> et composés organiques volatils) et d'incendie ou explosion de mélange méthane/air (concentration de méthane dans l'air de 5 à 15% en volume). Toutefois, l'azote atmosphérique et d'autres gaz inertes contenus dans le biogaz (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O) contribuent à réduire l'explosibilité de celui-ci (INERIS, 2006).

## Digestat solide et effluent liquide

Le digestat solide ou semi-solide peut être utilisé directement ou après séchage, comme fumier ou amendement organique. Il est cependant conseillé de le composter au préalable pour détruire par la chaleur les bactéries pathogènes. Le digestat est plus ou moins facilement convertible en compost ou utilisable comme substrat pour la production de lombri-compost et de champignons.

Il possède en outre des propriétés fertilisantes améliorées par rapport au compost produit à partir des mêmes substrats. Son épandage en plein champ est préférable à celui de déchets organiques non stabilisés ; les risques de pollution agro-chimique des eaux superficielles et souterraines étant réduits (Schulz et Eder, 2001).

Le liquide du digesteur peut également être utilisé comme pesticide pour les cultures annuelles, comme milieu de vie en aquaculture ou comme inoculum au démarrage d'un nouveau cycle de méthanisation des déchets (Chanakya et al., 2009).

Toutefois, un déficit de disponibilité d'espaces de stockage et de sites d'évacuation/valorisation de ces produits peut constituer une contrainte majeure à la mise en œuvre de la méthanisation.

## Conditions de réalisation

Plusieurs conditions doivent être réunies pour développer la méthanisation dans une région ou un pays :

### Conditions techniques

- Climatique : une température moyenne annuelle supérieure à 20°C permet d'éviter d'avoir à chauffer le digesteur ;
- Amortissement : l'investissement peut être amorti en plusieurs années, en fonction des paramètres technico-économiques ;
- Taille: pour dimensionner correctement les installations, il faut connaître les quantités d'intrants disponibles (matière organique et eau) ;
- Utilisation des produits : définir comment les produits de la méthanisation (énergie, digestat et effluents) seront utilisés, si possible à proximité, de façon à minimiser le transport des matières;
- Disponibilité d'intrants: approvisionnement régulier en matières organiques et disponibilité non limitative en eau;
- Besoin d'énergie à proximité: de préférence pour la cuisson des aliments (usage le plus simple et efficace) ;
- Parcelles de cultures ou d'espaces verts à proximité: pour l'épandage du digestat, avec une étape de compostage pour l'assainir et le stabiliser;
- Enfin, pour assurer la pérennité des installations, il est indispensable que des acteurs soient formés à la construction et à la maintenance, et que les usagers soient formés à l'usage quotidien.

### Conditions économiques

Le montant des investissements peut être relativement faible ou élevé : il faut compter entre 40 € et 1 600 € pour une unité de 4 m<sup>3</sup> en procédé liquide simple. Pour envisager que des usagers investissent dans un bio-digesteur, les conditions favorables sont les suivantes :

- Il existe une pénurie relative de combustibles notamment de bois pour la cuisson, et donc des prix de l'énergie suffisamment importants pour rentabiliser les installations en moins de 10 ans ;
- Le digestat organique peut être utilisé traditionnellement ou mieux, valorisable sur un marché (ce complément de revenu est nécessaire ou non selon les prix de l'énergie) ;
- Les usagers potentiels bénéficient d'aides à l'investissement.

## Conditions institutionnelles

Comme il s'agit d'un procédé peu pratiqué en Afrique, il est nécessaire que son développement soit facilité notamment par le gouvernement et/ou les collectivités locales.

La volonté politique doit être concrétisée par un chef de file gouvernemental d'un programme national (Agence de l'énergie domestique, Agence de l'Environnement...) qui assure la coordination entre les ministères concernés (agriculture, élevage, environnement, énergie...).

Une subvention à l'investissement facilite grandement le développement de cette énergie renouvelable. A titre d'exemple, dans le cadre du Programme National de Biodigester du Burkina Faso, en 2012, financé par l'ONG HIVOS et bénéficiant d'un appui technique de l'ONG SNV, plus de 2000 digesteurs de 4 m<sup>3</sup> (environ 340.000 FCFA ou 320 euros) à 10 m<sup>3</sup> (environ 500.000 FCFA ou 800 euros) ont été subventionnés à un niveau fixe de 160 000 FCFA ou 245 euros.

Pour apporter une assistance aux opérateurs de la méthanisation (constructeurs, fournisseurs de matériels, entreprises de maintenance,...), les instances publiques doivent également former les agences et organismes publics concernés.

## Types de digesteurs

Les digesteurs anaérobies des pays industrialisés sont généralement munis de dispositifs sophistiqués d'agitation (en voie sèche ou humide), de chauffage (stabilisation de la température en condition mésophile ou thermophile) et de suivi automatisé des paramètres de fonctionnement, renforçant la viabilité de ces systèmes et favorisant le développement de la technologie.

Les digesteurs anaérobies des PED sont des systèmes généralement rudimentaires, ordinairement exploités par voie humide pour faciliter la manutention des substrats au niveau de leurs entrées et sorties. En fonction de leur fréquence d'alimentation, ils peuvent être regroupés en 3 grandes catégories :

- 1 - Les digesteurs discontinus (ou batch), chargés une seule fois, jusqu'à épuisement du substrat et fin du processus méthanogène ;
- 2 - Les digesteurs continus, dont le contenu est en partie renouvelé régulièrement ;
- 3 - Les digesteurs semi-continus ou non conventionnels, correspondant à des procédés « rustiques ». Cette catégorie regroupe les 2 principaux types de digesteurs dits types chinois et indiens, dont la plupart des procédés plus ou moins innovants ne sont que des variantes technologiques.

## Procédés de digestion anaérobie en semi-continu

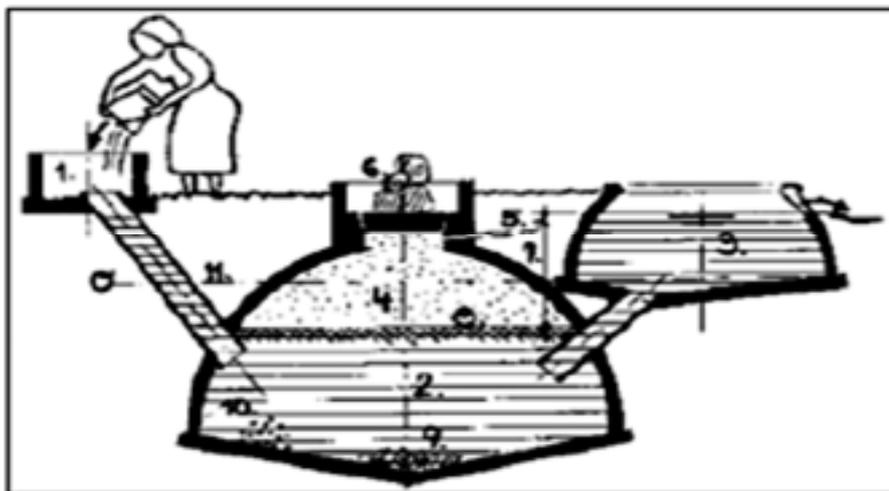
Ces digesteurs sont caractérisés par:

- Un chargement irrégulier en qualité et en quantité, une évacuation en continu ;
- Leur adaptation à des effluents liquides ou à des déchets solides en condition de saturation en eau, à faible teneur en composés ligno-cellulosiques ;
- L'avantage d'être relativement simples de construction et de mise en œuvre, à partir de matériaux disponibles localement ;

- L'absence de systèmes mécanisés ou de tout autre dispositif d'agitation ou d'évacuation des substrats digérés qui occasionne une sédimentation réduisant le volume utile du digesteur et diminuant le temps de séjour théorique, d'où la nécessité d'un curage assez régulier ;
- Un rendement volumique de l'ordre de 0,5 m<sup>3</sup> de biogaz par m<sup>3</sup> de digesteur, pour un temps de rétention hydraulique qui peut varier entre 30 et 100 jours.

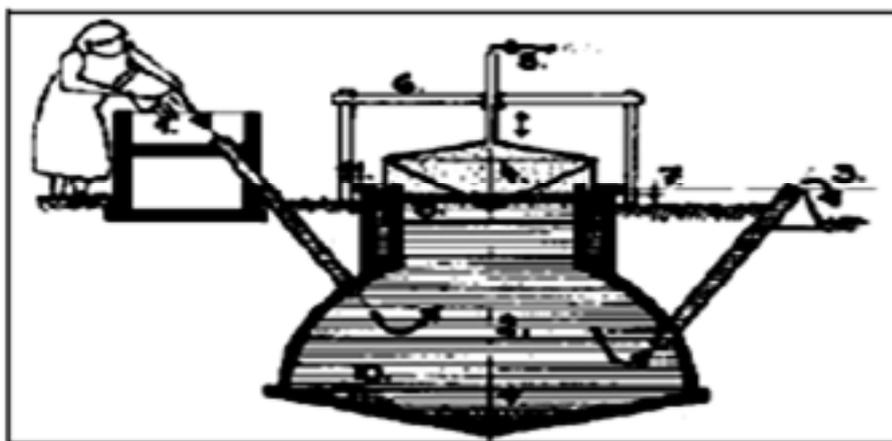
## Digesteurs à dôme encastré

Ce type de procédé, dit « type chinois », également connu sous les noms de digesteur hydraulique ou à pression hydraulique, est caractérisé par une structure en forme de dôme rigide et non amovible, posé sur le digesteur, jouant le rôle d'un gazomètre et offrant une voie d'accès pour l'entretien du digesteur. Quand démarre la production méthanogène, le mélange liquide-substrat migre vers une chambre d'expansion. La pression dans le digesteur augmente avec le volume de gaz stocké et la différence de hauteur entre les 2 niveaux du mélange dans le digesteur et dans la chambre d'expansion.



Digesteur à dôme encastré, avec zone de mélange et conduite d'entrée du substrat (1); digesteur (2); zone de compensation et sortie (3); gazomètre (4); conduite de gaz (5); zone d'accès au digesteur, muni d'un couvercle fixé et scellé au digesteur (6); différence de niveau ou pression de gaz en cm de colonne d'eau (7); mousse flottante (8); accumulation de boue épaisse (9); sédimentation (10); ligne de base zéro ou hauteur de remplissage à de pression de gaz nulle (11) (Source : Sasse, 1988).

## Digesteurs à cloche mobile



Représentation schématique d'un digesteur à cloche mobile (1), avec zone de mélange et conduite d'admission du substrat (2); trop-plein au niveau de la conduite de sortie (3); gazomètre muni d'un dispositif de blocage de la mousse (4); sortie de gaz et robinet principal (5); structure de guidage du couvercle du gazomètre (6); différence de niveau ou pression de gaz en cm de la colonne d'eau (7); mousse flottante (8); accumulation de mousse épaisse (9); sédimentation (10); joint d'eau (11) (Source : Sasse (1988)).

Les murs de ce type de digesteur, dit « type indien », sont généralement construits en briques (rarement en béton) et surmontés d'une cloche mobile en métal ou en plastique comme gazomètre. Le biogaz produit est stocké dans la cloche mobile, laquelle monte et descend sur un axe central. Ce digesteur est généralement alimenté à partir de déjections animales et humaines, résidus agricoles ou plantes

aquatiques, à travers un tuyau d'entrée, tandis qu'une quantité équivalente de boue digérée est éliminée par le trop-plein.

## Paramètres de dimensionnement d'un digesteur

L'objectif principal de l'étude du dimensionnement d'un digesteur anaérobie est d'optimiser les coûts, le traitement des déchets organiques et/ou la production de méthane. De nombreux paramètres déterminent le dimensionnement du digesteur.

### Volume du digesteur

Il est calculé à partir du volume de substrat apporté par jour multiplié par le temps de séjour théorique de celui-ci dans le digesteur.

### Temps de rétention

Il représente la durée moyenne de séjour du substrat (liquide ou solide) dans le digesteur.

### Productivité

C'est la production journalière de biogaz par unité de volume de digesteur.

## Étapes de mise œuvre et de fonctionnement d'un digesteur

### Test d'étanchéité à l'eau avant démarrage

Après saturation, le système est rempli d'eau et placé sous observation pendant 1 jour environ. Si les pertes en eau sont inférieures à 2% du volume du digesteur, celui-ci est déclaré étanche (à l'eau).

### Test d'étanchéité au gaz

Dans le cas des digesteurs à cloche mobile, la mise sous pression du gazomètre et des conduites de gaz est réalisée à l'aide d'une pompe ou en plaçant des poids au-dessus du gazomètre. Dans le cas des digesteurs dits à dôme fixe, des pertes de gaz correspondant à une diminution de moins de 5% de la hauteur d'eau dans la chambre de compensation, permettent de conclure à l'étanchéité (au gaz) du digesteur. Les fuites sont détectables à l'eau savonneuse sur toutes les parties visibles.

### Inoculation et remplissage initial

L'introduction d'un levain microbien actif dans le digesteur représente généralement la première étape de la digestion anaérobie. Le levain microbien ou inoculum peut être une boue active provenant d'une station d'épuration ou d'un autre digesteur anaérobie, de la bouse de vache fraîche, ou d'autres déchets animaux en fermentation. L'ajout de l'inoculum améliore la production de biogaz et la teneur en CH<sub>4</sub> de celui-ci, en même temps qu'il réduit le temps de rétention, au démarrage de la méthanisation.

## Paramètres de suivi de la digestion anaérobie

### Température

Les digesteurs fonctionnant entre 25 °C et 35 °C sont généralement les plus utilisés pour leur plus grande stabilité, d'après Tchobanoglous et al. (1993), et sont adaptés aux conditions tropicales de la plupart des PED, sans besoin de recours à une source externe de chaleur.

## PH

Les bactéries impliquées dans la digestion anaérobie se développent à un pH optimal variant autour de 7. Quand le niveau de production d'acide est excessif, il se crée un déséquilibre qui se traduit par une diminution du pH, une baisse de la production de biogaz et l'appauvrissement de celui-ci par croissance de la teneur en dioxyde de carbone (Eckenfelder, 2000).

## Production de méthane

La production de méthane est sans doute le paramètre de suivi le plus important du contrôle de la digestion anaérobie, puisqu'elle intègre l'ensemble des autres paramètres du processus (Lacour, 2012). La production de méthane peut être déterminée à partir de l'analyse de la composition du biogaz et de la connaissance du volume de biogaz produit. Un essai à la flamme (pratiqué à l'ombre) permet de vérifier qualitativement la teneur en méthane du biogaz. Ce test peut être réalisé en apportant la flamme au niveau de la vanne joignant la sortie du digesteur aux périphériques d'utilisation du biogaz (cuisinière, génératrice, etc.).

## Problèmes courants des digesteurs dans les PED, causes et solutions éventuelles (Source: Lacour, 2012).

Problèmes	Causes / indicateurs éventuels	Solutions envisageables
<b>Quantité de substrat</b>	•Déficit ou excès d'alimentation journalière •Dilution excessive	Revoir les calculs relatifs aux taux de charge organique et le temps de rétention
<b>Fuites de gaz</b>	•Digesteur/Gazomètre •Tubes, valves et accessoires	Vérifier les composantes et connexions sous pression, à l'aide d'eau savonneuse ou d'une bombonne de mousse pour la détection de fuites
<b>Perturbations des activités biologiques</b>	•Odeurs fortes •Changement de couleur de la matière digérée •Baisse de pH	Vérifier le taux de charge organique Arrêter l'alimentation jusqu'à un retour à la normale Neutraliser le pH avec de la chaux Ajouter de la bouse de vache ou de la boue active (saine) Vérifier les procédures d'alimentation du digesteur pour déterminer les risques éventuels de pollution et d'intrusion de substances toxiques (détergents, pesticides, etc.)

## Qu'en conclure?

- La méthanisation peut être une option viable de traitement et de valorisation matière-énergie des déchets organiques fermentescibles. Les procédés de digestion anaérobie généralement utilisés dans les PED sont relativement simples de conception, faciles d'utilisation.
- En fonction du choix de procédé, du type de digesteur et du contexte, certains facteurs, paramètres et conditions d'ordres environnemental, technique, socio-économique et politique constituent des leviers plus ou moins déterminants de la réussite des programmes de diffusion de cette technologie. Ces digesteurs demandent des compétences minimales pour leur mise en

œuvre et leur suivi. Toutefois, les difficultés d'appropriation de cette technologie sont souvent listées parmi les principales causes d'échec de nombreux projets visant son développement.

- Les digesteurs anaérobies des PED sont généralement exploités à l'échelle familiale (4 à 10 m<sup>3</sup>) ou communautaire (20 à 50 m<sup>3</sup>). Les agro-industriels et les cantines scolaires peuvent également gérer relativement facilement une installation de digestion anaérobie adaptée à leur type d'effluents et déchets fermentescibles. Ce procédé est actuellement moins adapté au traitement centralisé des déchets ménagers.
- L'accès à l'énergie (pour la cuisson, l'éclairage et/ou l'électricité), réduisant le temps et l'énergie consacré à la collecte de bois de chauffe dans certains PED, est l'une des principales sources de motivation des programmes et projets de développement de la méthanisation.
- Les coûts d'installation des digesteurs varient de moins de 10 euros/m<sup>3</sup> à plus de 400 euros/m<sup>3</sup>, en fonction de leur niveau de sophistication, des matériaux utilisés (brique, béton, plastique, etc.) et du prix de revient de ces matériaux et de la main-d'œuvre sur le marché local. Le retour sur investissement peut être atteint en moins de 10 ans.
- Des actions pilotes visant à développer l'utilisation de matériaux locaux à bas coûts, à renforcer les capacités humaines et institutionnelles au niveau local, autour d'une bonne stratégie de communication, permettront une plus grande appropriation de la méthanisation. D'autres essais pilotes sur des procédés par voie sèche peuvent également contribuer à faciliter l'accès à la méthanisation, par la réduction des besoins en eau, de la taille des digesteurs et des coûts d'installation.
- Des projets pilotes ou de diffusion de cette technologie accèdent à des financements internationaux, comme à travers les mécanismes de la finance carbone. Cependant, ils nécessitent un appui institutionnel de la part des décideurs politiques au niveau local.
- D'autres verrous technologiques, socio-économiques et politiques tels que le choix des procédés de prétraitement des déchets solides, les changements d'échelle (passage des digesteurs de taille familiale aux digesteurs de taille communautaire), les mécanismes de financement/subvention des programmes de diffusion de la technologie, l'implication des acteurs (étatiques et non étatiques), ainsi que la communication autour des bénéfices liés à la méthanisation, doivent être adressés dans le sens des objectifs poursuivis par Re-Sources.

## Quelques références bibliographiques

**1** - BAYARD R. & GOURDON R. Traitement biologique des déchets. Techniques de l'Ingénieur. 2009, Vol. 45.

**2** - CHANAKYA H. N., SHARMA I., RAMACHANDRA T. V. Micro-scale anaerobic digestion of point source components of organic fraction of municipal solid waste. Waste Management. 2009, vol. 29, n° 4, pp. 1306-1312.

**3** - ECKENFELDER J. W. Industrial Water-Pollution Control. Boston Burr Ridge: McGraw-Hill Higher Education. 394-411.

**4** - INERIS. Etude comparative des dangers et des risques liés au biogaz et au gaz naturel. DRA – N° 46032 – 2006-JBr/Biogaz/1.

**5** - LACOUR J. & BAYARD R.. Méthanisation : il faut y aller ! Gestion des déchets ménagers : Regards croisés. Revue Liaison Énergie-Francophonie de l'IEPE Numéro 90, 4ème trimestre 2011, p. 41-46.

**6** - LACOUR J. Traitements biologiques anaérobie et aérobie de fractions fermentescibles des déchets. Thèse en cotutelle. Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Lyon en France & Université Quisqueya en Haïti. Thèse de Doctorat, 2012.

**7** - SASSE L. Biogas plants. Eschborn, Federal Republic of Germany: German Appropriate Technology Exchange (GATE) & Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), 1988, 66 p.

**8** - SCHULZ H. & EDER B. Biogas-Praxis. Rev Stufen bei Freiburg, Ökobuch, 2001, vol. 2.

## Re-Sources

La Plateforme Re-Sources est un réseau de référence dans le domaine de la gestion des déchets ménagers dans les pays africains et caribéens. Son objectif global est de contribuer à améliorer la gestion des déchets dans les villes en développement, en favorisant les stratégies de réduction et de valorisation des déchets. En rassemblant des acteurs professionnels de la gestion des déchets des pays du Sud, Re-Sources capitalise des approches innovantes prenant en compte les spécificités socioéconomiques des contextes locaux dans les recommandations pratiques et politiques. Il s'agit à travers ce réseau de diffuser des bonnes pratiques par l'information et la formation des organisations de la société civile, des collectivités et des décideurs politiques.

## Rédaction

Geeta SOMAROO (Université de Maurice) - Joaneson LACOUR (Université Quisqueya)

## Coordination

Geeta SOMAROO (Université de Maurice) - Joaneson LACOUR (Université Quisqueya)

Bernard NONGUIERMA (Centre Re-Sources)

## Contribution et relecture

Edem KOLEDZI (Université de Iomé) - Gaïa LUDINGTON (Gevalor)

Georges MORIZOT (Gevalor) - Jocelyne DELARUE (Gevalor)

Mathieu BRUNEAU (Cefrepade) - Pascale NAQUIN (Cefrepade)

## Plateforme Re-Sources

BP : 01 BP 783 Ouagadougou 01

Rue Liuli Péné- Zone du Bois,

Ouagadougou BURKINA FASO

(+226) 50 36 38 04

contact@plateforme-re-sources.org



Ce document a été réalisé avec l'aide financière de l'Union Européenne, l'Agence Française de Développement et le Fonds Français pour l'Environnement Mondial. Le contenu de ce document relève de la seule responsabilité de la plateforme Re-Sources, et ne peut en aucun cas être considéré comme reflétant la position des partenaires financiers.