

RETENTION GAZEUSE DANS UNE COLONNE A BULLES CONTENANT UN LIQUIDE VISQUEUX NON-NEWTONIEN

E. Fransolet, V. Coumont, M. Crine, G. L'Homme, P. Marchot, D. Toye.

Laboratoires de Génie Chimique, B6, Université de Liège, B4000, Belgique

Résumé : Les valeurs de rétention gazeuse en présence de solutions aqueuses de xanthane sont étudiées dans une colonne à bulles de 0.24 m de diamètre. Elles sont mesurées par tomographie électrique résistive et par des capteurs de pression. L'effet de la viscosité du milieu non-Newtonien sur la rétention gazeuse est ainsi déterminé. La technique de désengagement gazeux est utilisée pour déterminer la structure des valeurs de rétention gazeuse. La distribution de tailles de bulles mesurée grâce à cette technique est fonction de la viscosité du milieu.

INTRODUCTION

Les colonnes à bulles sont largement utilisées dans l'industrie chimique pour la mise en œuvre de réactions gaz-liquide et gaz-liquide-solide. Leur hydrodynamique est très complexe et se caractérise par l'existence de différents régimes d'écoulement, dont l'apparition, pour une géométrie et un système gaz-liquide donnés, dépend essentiellement de la vitesse superficielle du gaz. On distingue principalement le régime à bulles ou régime homogène, apparaissant aux faibles débits de gaz et le régime turbulent ou régime hétérogène, apparaissant aux débits de gaz les plus élevés. Un régime de transition est observé aux débits de gaz intermédiaires. Le but de la présente étude est de déterminer l'influence de la viscosité du liquide sur ces différents régimes hydrodynamiques ainsi que sur la distribution de la rétention gazeuse dans chacun des régimes. Une des techniques de mesure utilisées est la tomographie résistive électrique (E.R.T.), dont le principe est de reconstruire la carte de distribution de la conductivité électrique dans la section droite d'un objet à partir de mesures de différence de potentiel réalisées entre des électrodes disposées sur sa périphérie. Cette technique se base sur le fait que la différence de potentiel mesurée entre deux électrodes est fonction de la conductivité du milieu qui les sépare et n'est donc applicable que lorsque l'objet analysé est globalement conducteur. Par rapport aux techniques traditionnellement utilisées pour étudier l'hydrodynamique au sein des colonnes à bulles (capteurs de pression, sondes optiques ou conductimétriques), l'E.R.T. présente le double avantage d'être une méthode non intrusive et de fournir une information bidimensionnelle sur la distribution des phases.

DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif expérimental utilisé (Fig.1) consiste en une colonne de 2.75 m de haut et de 0.24 m de diamètre, remplie de liquide et alimentée en pied par de l'air comprimé via un distributeur uniforme en forme de peigne, percé de 203 trous de 1 mm de diamètre. La colonne fonctionne en mode semi-continu. Le liquide utilisé est composé d'eau à laquelle on ajoute un produit permettant de faire varier la viscosité du liquide. Le choix du produit s'est porté sur le xanthane, additif ayant la propriété d'augmenter la viscosité du milieu. Il permet également de rendre le liquide non-Newtonien en lui conférant un caractère rhéofluidifiant. L'utilisation du xanthane permet donc de simuler des milieux liquides couramment rencontrés dans l'industrie. La viscosité du milieu ainsi obtenue est mesurée à l'aide d'un viscosimètre couette (Bohlin). Nous avons utilisé des solutions de xanthane de concentration variant de 1g/l à 5 g/l.

La colonne est équipée de différents types de capteurs. Tout d'abord, 5 capteurs de pression (Keller, PR25 d'une précision de 0.1%), représentés par P1 à P5 sur la figure 1, sont disposés de manière équidistante le long de la colonne.

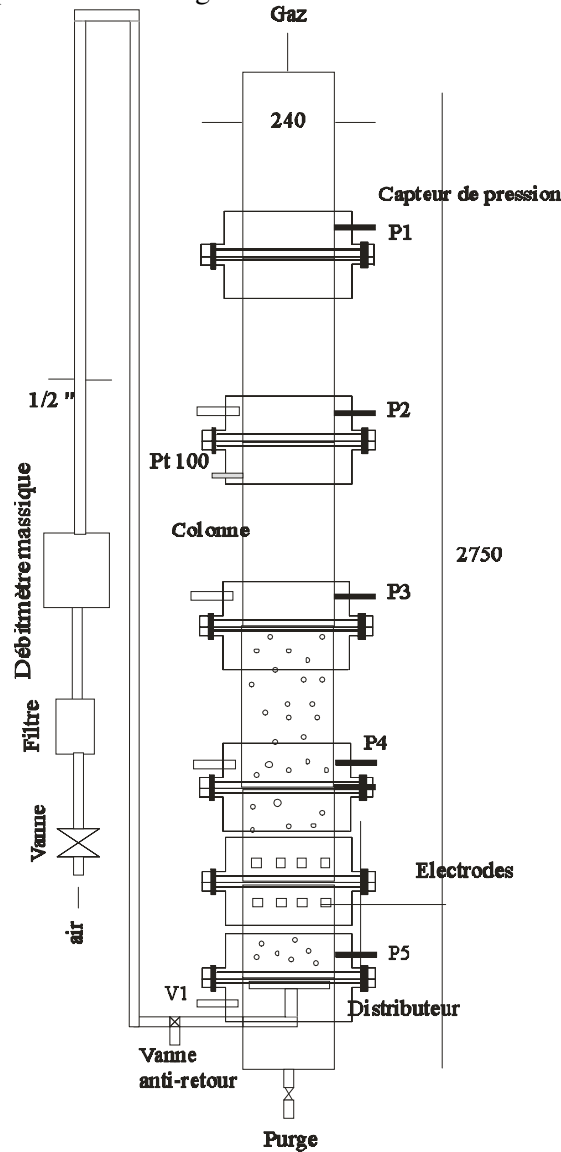


Figure 1 : Dispositif expérimental

Le second type de capteurs utilisés est un dispositif de tomographie électrique résistive (I.T.S.), composé de 2 plans comprenant chacun 16 électrodes uniformément réparties à la périphérie de la colonne et respectivement situés à une distance de 0.21 et de 0.35 m au-dessus du distributeur de gaz [1]. La stratégie de mesure choisie est celle des 'électrodes adjacentes', qui consiste à injecter un courant entre deux électrodes adjacentes et à mesurer la différence de potentiel induite par ce courant entre tous les autres couples d'électrodes adjacentes, en excluant les couples dans lesquels interviennent les deux électrodes d'injection. Cette action est alors répétée en utilisant tous les autres couples d'électrodes d'injection. Les images de la distribution de la conductivité sont reconstruites à partir des 104 valeurs de différence de potentiel ainsi mesurées, grâce à un algorithme de rétro-projection linéaire. Cet algorithme est dit 'qualitatif', dans le sens où les pixels composant les images obtenues représentent, non pas une valeur absolue de la conductivité

mais plutôt une valeur relative de celle-ci, par rapport à une image réalisée dans des conditions de référence. Les mesures sont réalisées à raison de 10 images/s et les images 2D de la rétention gazeuse sont directement déduites des images 2D de la conductivité.

RESULTATS

1. Influence de la concentration en xanthane sur la viscosité du liquide

Le xanthane est un polysaccharide anionique d'origine bactérienne, produit par *Xanthomas campestris*. Le xanthane est soluble dans l'eau et sa viscosité est élevée même à faible concentration. Les solutions de xanthane sont non-newtoniennes et rhéofluidifiantes, ce qui se traduit par une diminution de la viscosité apparente du fluide lorsque la vitesse de cisaillement qui lui est appliquée augmente. Ces solutions obéissent donc à la loi d'Ostwald-de Waele ou loi de puissance :

$$\tau = K \dot{\gamma}^n$$

où τ est la tension de cisaillement (Pa), K est l'indice de consistance ($\text{N.s}^n.\text{m}^{-2}$), $\dot{\gamma}$ est la vitesse de cisaillement (s^{-1}) et n est l'indice de comportement (-). Le paramètre K est une mesure directe de la viscosité à une vitesse de cisaillement donnée : plus il est élevé, plus le fluide est visqueux. n vaut 1 quand le fluide est newtonien et est inférieur à 1 quand il est rhéofluidifiant. Les paramètres K et n sont fonction de la concentration en xanthane. La viscosité apparente (μ_a), qui est le rapport entre la tension de cisaillement et la vitesse de cisaillement, vaut donc :

$$\mu_a = K \dot{\gamma}^{n-1}$$

La figure 2 représente la viscosité apparente en fonction de la vitesse de cisaillement pour différentes concentrations en xanthane.

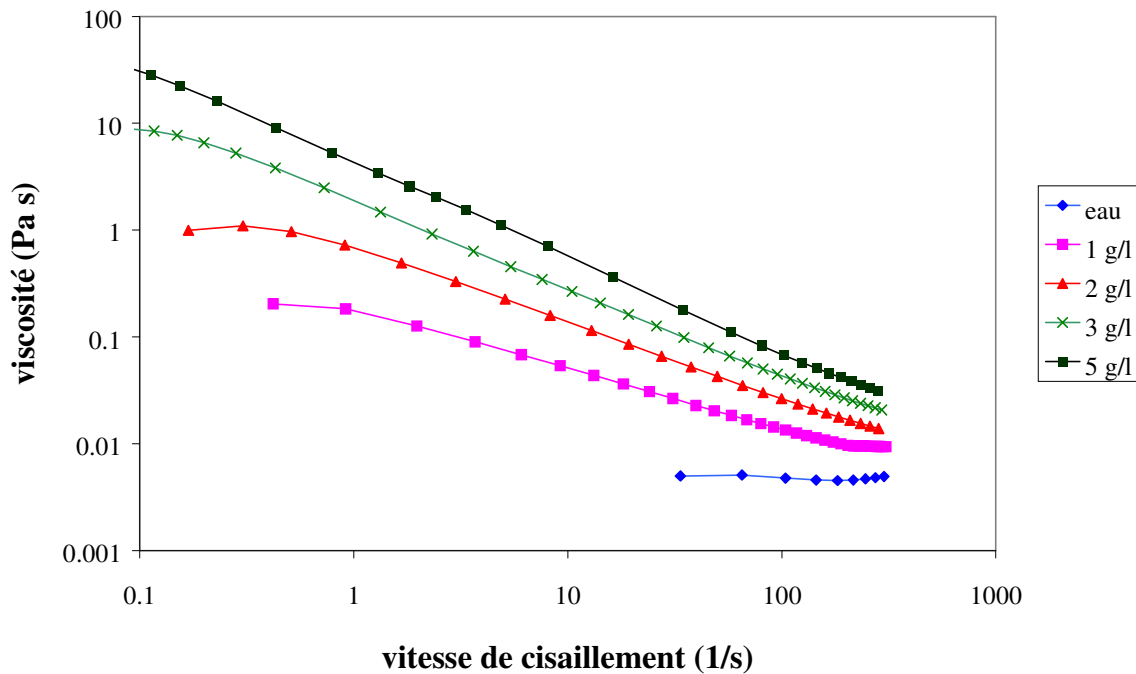


Figure 2 : Courbes de vitesse de cisaillement/tension de cisaillement à différentes concentration en xanthane

L'augmentation de la concentration en xanthane dans le liquide a pour effet d'augmenter la viscosité apparente du milieu et de le rendre plus non-newtonien. En effet, les valeurs du paramètre n diminuent et celle de K augmentent comme le montre le tableau 1.

Le tableau 1 reprend les valeurs de viscosité apparente des différentes solutions en xanthane utilisées lors de nos expériences pour une vitesse de cisaillement de 100 s^{-1} .

Tableau 1 : Valeurs de viscosité apparente en fonction de la concentration en xanthane pour une vitesse de cisaillement de 100 s^{-1} .

Concentration en xanthane (g/l)	0	1	2	3	4	5
Viscosité apparente (Pa.s)	$4.76 \cdot 10^{-3}$	$1.34 \cdot 10^{-2}$	$2.42 \cdot 10^{-2}$	$3.17 \cdot 10^{-2}$	$5.61 \cdot 10^{-2}$	$6.25 \cdot 10^{-2}$
K	0.004	0.10	0.58	1.09	2.27	2.93
n	1.04	0.52	0.32	0.25	0.19	0.19

2. Capteurs de pression

Les capteurs de pression permettent de mesurer les valeurs de rétention gazeuse sur la globalité ainsi que sur les différents tronçons de la colonne avec une précision relative de 1%. Afin de pouvoir comparer ultérieurement les résultats obtenus avec les capteurs de pression à ceux issus du tomographe, nous représentons sur la figure 3, les valeurs de rétention gazeuse, mesurées par les capteurs de pression (P4 et P5) situés de part et d'autre des plans tomographiques, en fonction de la vitesse superficielle du gaz pour différentes concentrations en xanthane.

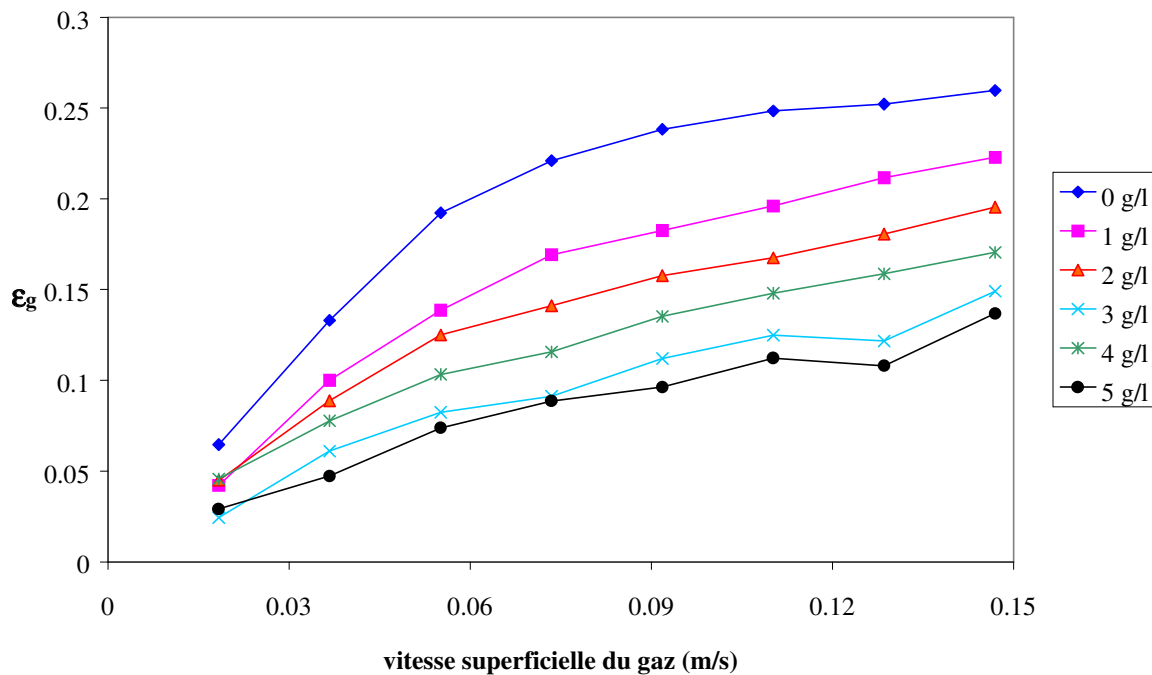


Figure 3 : Comparaison des courbes rétention gazeuse-vitesse superficielle du gaz, mesurées par capteur de pression, pour différentes valeurs de concentration en xanthane

Toutes les valeurs de rétention gazeuse obtenues en présence de xanthane sont plus faibles que celles mesurées en présence d'eau seule.

Pour les concentrations en xanthane variant de 1 g/l à 3g/l, les valeurs de rétention mesurées par les capteurs de pression sont plus faibles que celles obtenues en présence d'eau seule. En effet, la présence de xanthane dans le liquide engendre une augmentation de la coalescence des bulles et par conséquent une diminution de la rétention gazeuse au sein de la colonne.

Quand la concentration en xanthane augmente et atteint des valeurs de 4 et 5 g/l, les résultats obtenus à l'aide des capteurs de pression ne montrent plus une diminution des valeurs de rétention mais plutôt une stagnation des valeurs voire un passage par un minimum. L'effet d'une forte augmentation de viscosité (pour des valeurs de viscosité dépassant 0.04 Pa.s) sur les valeurs de rétention gazeuse, n'est donc pas véritablement défini (stagnation ou légère remontée) comme c'est d'ailleurs le cas pour les résultats repris dans la littérature [2-3]. Il est à remarquer en outre que toutes les courbes relatives au xanthane montrent une augmentation plus ou moins régulière des valeurs de rétention gazeuse en fonction de la vitesse superficielle du gaz. Aucune cassure nette de pente n'est donc observée ce qui sous-entend l'absence d'un régime homogène bien défini en présence de xanthane.

3. Tomographe électrique résistif

La tomographie électrique résistive permet également de mesurer la rétention gazeuse moyenne sur un plan de mesure. Il est à noter avant de discuter des résultats obtenus par cette technique, que dans le cas de l'eau seule, les valeurs de rétention obtenues sont qualitatives [1]. La figure 4 représente les courbes de rétention gazeuse en fonction de la vitesse superficielle du gaz aux différentes concentrations en xanthane.

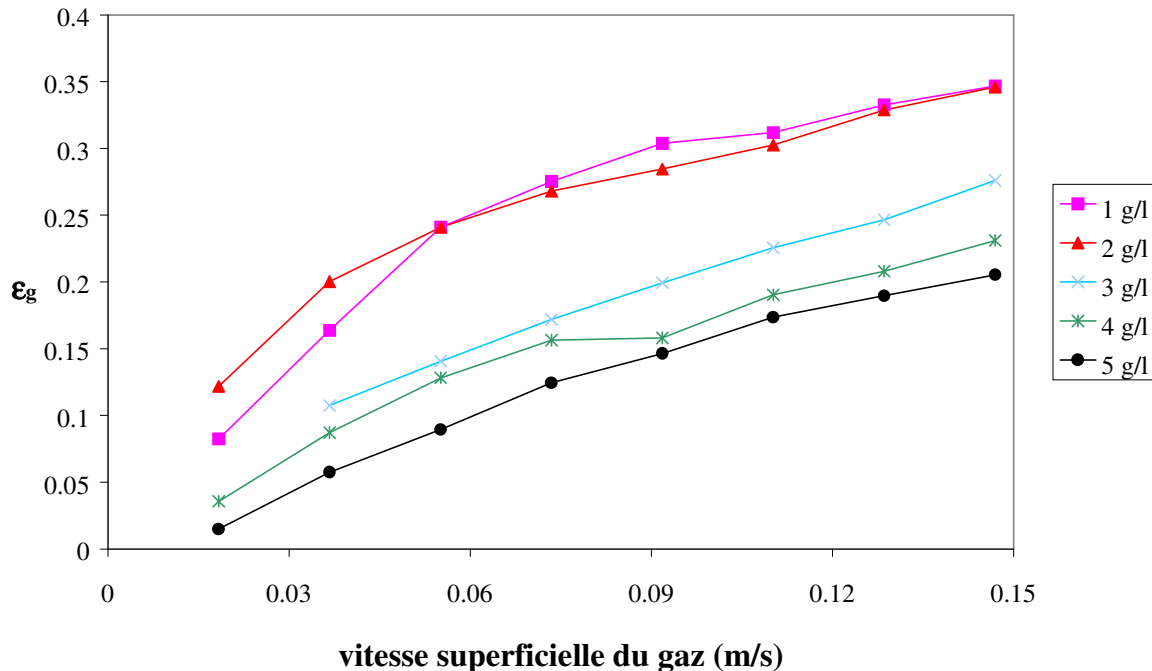


Figure 4 : Comparaison des courbes rétention gazeuse-vitesse superficielle du gaz, mesurées par tomographie, pour différentes valeurs de concentration en xanthane

On peut observer sur cette figure une décroissance continue des valeurs de rétention gazeuse lorsque la concentration en xanthane augmente. Ces résultats ne sont pas en complet accord par rapport aux résultats obtenus par les capteurs de pression puisque les valeurs de rétention ne réaugmentent pas aux concentrations élevées en xanthane. Mais comme nous l'avons expliqué précédemment, c'est précisément à ces valeurs-là que la littérature ne s'accorde pas sur l'effet de la viscosité sur les rétentions gazeuses. Nous pouvons donc considérer que globalement, la tomographie électrique résistive nous informe bien de la diminution de la rétention gazeuse lors de l'augmentation de la viscosité du milieu. En outre, elle montre aussi comme les capteurs de pression une évolution régulière des valeurs de rétention gazeuse en fonction de la vitesse superficielle du gaz et donc l'absence d'un régime homogène bien défini, en présence de xanthane.

4.1 Désengagement gazeux

Le désengagement gazeux est une technique qui permet de déterminer la structure de la rétention gazeuse. Cette technique consiste à stopper l'arrivée de gaz et à mesurer à l'aide des capteurs de pression, la variation de la hauteur de dispersion en fonction du temps [4]. Grâce à cette technique, nous avons mis en évidence les différences existant entre les classes de bulles générées en présence d'eau seule et celles produites en présence de xanthane à différentes concentrations. La figure 5 représente les deux courbes de désengagement obtenues en présence d'eau seule en régime homogène d'une part et en régime hétérogène d'autre part. Les symboles 'o' représentent les différentes ruptures de pente correspondantes au début d'une classe de bulles et à la fin de la classe de bulles précédente si il y a lieu. L'analyse de la courbe correspondant au régime homogène, montre que nous n'avons qu'une seule classe de petites bulles qui correspond bien aux caractéristiques du régime homogène. Pour la courbe relative au régime hétérogène, nous distinguons bien deux pentes différentes de désengagement qui correspondent à deux classes de bulles, une de grosses bulles qui se désengagent les premières à plus grande vitesse que les plus petites bulles, qui constituent la seconde classe de bulles.

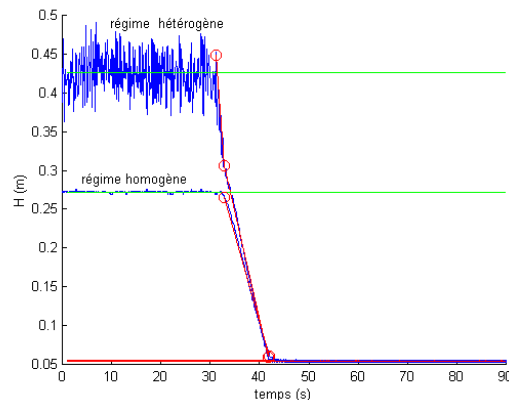


Figure 5 : Courbes de désengagement gazeux en régime homogène dans l'eau (0.04 m/s) et en régime hétérogène (0.15 m/s), l'arrêt de l'injection du gaz réalisé après 30 secondes de mesure

Une analyse plus détaillée des résultats montre que la proportion de petites bulles est supérieure à celle des grosses bulles.

Lorsqu'on applique la technique de désengagement gazeux à des solutions aqueuses de xanthane, les résultats diffèrent de ceux obtenus dans l'eau mais sont aussi fonction de la concentration en xanthane de la solution. En effet, à faible concentration en xanthane (jusqu'à 3 g/l), trois classes de bulles sont déduites des courbes de désengagement et ce pour toute la

gamme de vitesses superficielles de gaz (0 à 0.15 m/s). Les valeurs de rétention obtenues sont plus élevées dans les classes de bulles plus grosses, ce qui est l'inverse de ce qui se passe en présence d'eau uniquement, ce qui signifie bien que la coalescence des bulles est favorisée dans un liquide dont la viscosité croît. Pour des concentrations en xanthane plus élevées, on ne détecte plus 3 classes de bulles mais plutôt 2 seulement, ce qui sous-entendrait une poursuite de la coalescence des bulles au détriment des plus petites. Cette observation pourrait aussi s'expliquer par le fait qu'à viscosité très élevée, les toutes petites bulles resteraient emprisonnées dans le liquide et donc ne seraient plus capables de se désengager, et par conséquent, ne seraient plus détectables. Ces résultats sont en accord avec la littérature [5]. Deux exemples de désengagement sont repris sur la figure 6 afin d'illustrer la forme des courbes de désengagement obtenues pour deux valeurs de concentration en xanthane.

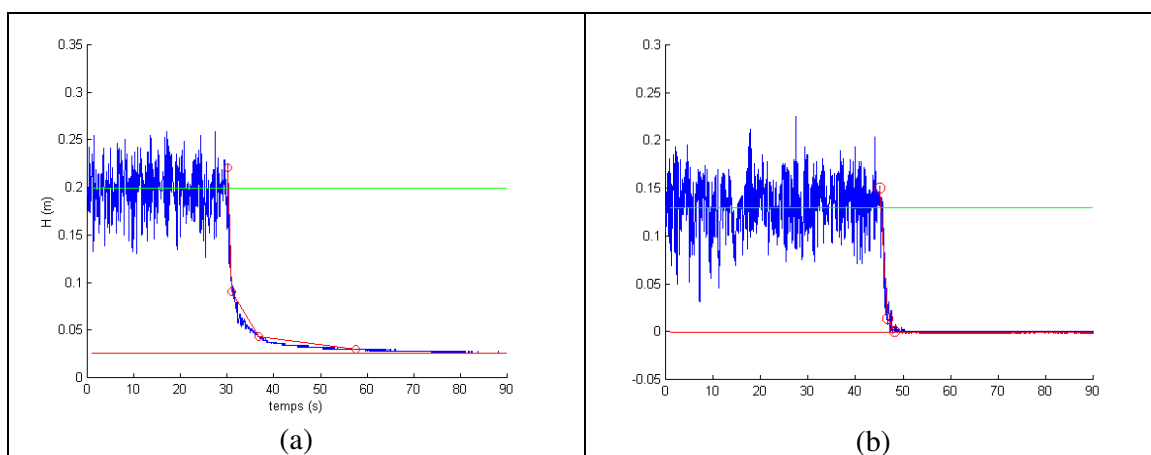


Figure 6 : courbes de désengagement gazeux à 0.15 m/s à 3 g/l (a) et à 5g/l (b), l'arrêt de l'injection de gaz étant réalisé après 30 secondes de mesure.

En outre, un examen plus détaillé de l'ensemble des courbes de désengagement mesurées montre l'existence de plusieurs classes de bulles dès les faibles vitesses superficielles de gaz confirmant ainsi l'absence d'un régime homogène en présence de xanthane, comme mentionné dans la littérature [5].

CONCLUSIONS

Les résultats obtenus lors de cette étude montrent que la structure de la rétention gazeuse en milieu visqueux non-newtonien est complètement différente de celle existant en milieu aqueux. En effet, les valeurs de rétention gazeuse diminuent lorsque que la viscosité du milieu augmente, ce phénomène atteignant un palier pour des valeurs de viscosité supérieures à 0.04 Pa.s, correspondantes à des concentrations en xanthane supérieures à 3 g/l. En présence de xanthane, les bulles coalescent et la distribution de taille de bulles s'inverse par rapport à celle observée en milieu aqueux, et provoque également la disparition du régime homogène.

REFERENCES

- [1] E. Fransolet, M. Crine, G. L'Homme, D. Toye, P. Marchot, *Analysis of electrical resistance tomography measurements obtained on a bubble column*, **12**, (2001), 1055-1060
- [2] S. Syaiful, G. Reinhold, A Bascoul, A.M. Wilhelm, H. Delmas., *Gradient de vitesse moyen et transfert gaz-liquide non newtonien en fluidisation triphasique et colonnes à bulles*, Récents progrès en génie des procédés, **4**, N°10, (1990), 51-56

- [3] D. Bukur, S. A. Patel, *Hydrodynamic studies with foaming and non-newtonian solutions in bubble columns*, The Canadian journal of chemical engineering, **67**, (1989), 741-751
- [4] J. G. Daly, S.A. Patel, D.B. Bukur, Measurement of gas holdups and sauter mean bubble diameter in bubble column reactors by dynamic gas disengagement method, Chem. Eng. Sci., **47**, No 13-14, (1992), 3647-3654
- [5] S.P. Godbole, M.F. Honath, Y.T. Shah, *Holdup structure in highly viscous Newtonian and non-newtonian liquids in bubble columns*, Chem. Eng. Commun., **16** (1982), 119-134