HAL open science

Estimation simple et fiable des dégagements gazeux issus de fermentation

Sylvie Giger-Reverdin

To cite this version:

Sylvie Giger-Reverdin. Estimation simple et fiable des dégagements gazeux issus de fermentation. Annales de zootechnie, 1990, 39 (3-4), pp.173-178. hal-00888725

HAL Id: hal-00888725

https://hal.science/hal-00888725v1

Submitted on 11 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Ann Zootech (1990) 39, 173-178
© Elsevier/INRA

Article original

Estimation simple et fiable des dégagements gazeux issus de fermentation

S Giger-Reverdin

INA P-G, station de nutrition et alimentation (INRA), 16, rue Claude-Bernard, 75231 Paris Cedex 05, France

(Reçu le 16 février 1990; accepté le 1er août 1990)

Résumé — La connaissance des cinétiques des dégagements gazeux est un des paramètres nécessaires à une bonne compréhension des fermentations. Le système décrit a été utilisé avec un biofermenteur, le RUSITEC. La description du dispositif de mesures est suivie par celle de la méthode de correction permettant de prendre en compte les surpressions existant dans le système. Ce calcul permet d'en tester la fiabilité. Une application numérique met en évidence l'importance des variations liées à cette surpression

fermenteur / mesure / gaz / correction

Summary — An easy and reliable estimation of gaseous emissions resulting from fermentation. *A good knowledge of kinetics of gas production is necessary for a better understanding of phenomena related to fermentation. The system described was used with the RUSITEC biofermentor (a long-term rumen simulation technique apparatus); a correction method enabling the excess of pressure existing in the system to be taken into account is also described. The importance of variations in fermentation gas estimation due to excess of pressure is emphasized* via *numerical example.*

bio-fermentor / measurement / gas / correction

INTRODUCTION

La connaissance de la cinétique des dégagements gazeux est un élément important dans l'étude des fermentations, et en particulier de celles issues d'un biofermenteur simulant le fonctionnement du rumen, comme le RUSITEC ou *Rumen Simulation Technique.*

Le système utilisé est constitué de 4 modules identiques dont l'un est décrit dans la figure 1. Sa partie centrale a été construite à l'atelier commun de la station de recherches de nutrition et de physiologie animale (INRA) du centre de recherches de Jouy-en-Josas selon les plans conçus par M Durand (Komisarczuk, 1985; Blanchart *et al,* 1989) à partir du modèle proposé par Czerkawski et Breckenridge (1977). La partie concernant la mesure des dégagements gazeux constitue un ensemble original mis au point dans notre laboratoire en collaboration avec un verrier (A Frank, Ivertec, Paris). Les différentes abréviations utilisées dans ce texte sont récapitulées au tableau I. Le présent article concerne la description de cette partie en verre, ainsi que la méthode de calcul qui permet de prendre en compte les surpressions qui lui sont inhérentes.

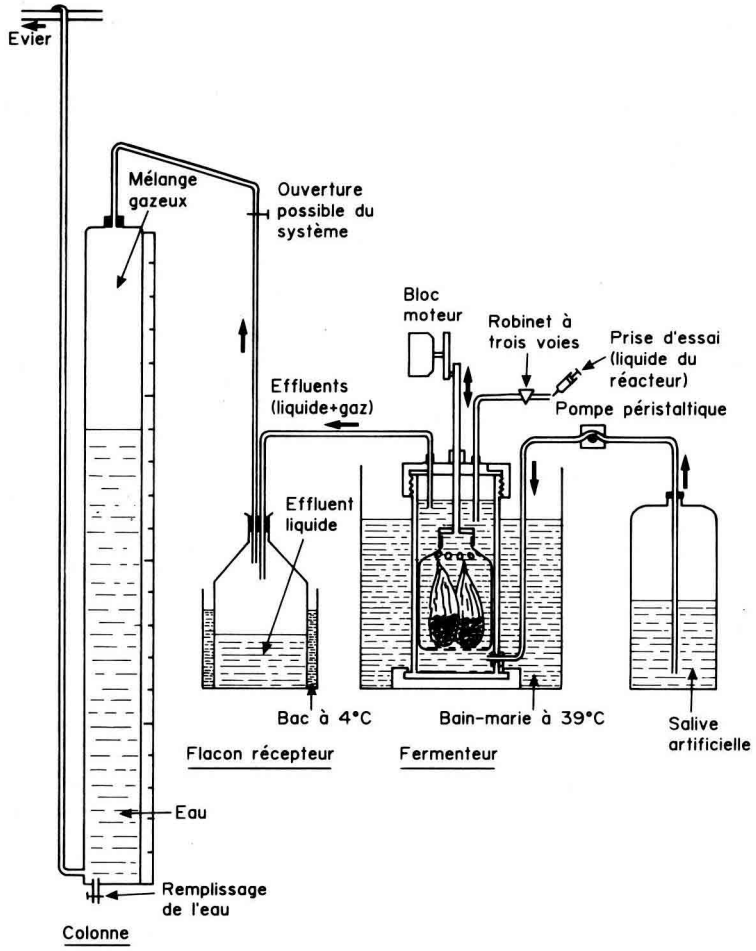

Fig 1. Schéma du RUSITEC.

DESCRIPTION DU SYSTÈME DE RECUEIL ET DE MESURE DES EFFLUENTS

Schéma général

Le système de recueil et de séparation des effluents liquides et gazeux est constitué principalement d'un flacon récepteur de 2 l de contenance où les effluents liquides sont maintenus à une température constante de 4°C en présence d'un agent antimicrobien (10 ml de chlorure mercurique, saturé/5) et d'une colonne de réception, en verre, des gaz d'une capacité de 4 l (fig 2). Cette colonne est en permanence reliée par le bas à un tube vertical en matière plastique qui la longe et dont l'extrémité apicale, située à un niveau plus

Tableau I. Nom des variables utilisées.

h	: distance séparant le haut de la colonne en verre de l'extrémité du tube au niveau du trop-plein.
h_{lu}	: hauteur de la portion de colonne emplie par le gaz, à l'instant t. Cette hauteur est proportionnelle à V_{lu}, puisque la colonne est cylindrique ($h_{lu} = aV_{lu}$).
h_l	: distance séparant les plans horizontaux correspondants au niveau supérieur de l'eau dans la colonne en verre et à celui du tube au niveau du trop-plein.
P	: pression du gaz à l'intérieur de la colonne à l'instant t.
P_{atm}	: pression atmosphérique.
V_e	: volume total d'effluents liquides recueillis en n h.
V_f	: somme des volumes du flacon récepteur vide et de celui du tube reliant ce flacon à la colonne.
V_r	: somme du volume occupé, au bout de t h, par le mélange gazeux dans le flacon récepteur et dans le tube de liaison entre le flacon récepteur et la colonne.
V_g	: volume du mélange gazeux à un instant t ($V_g = V_{lu} + V_r$).
V_{gatm}	: volume qu'aurait le mélange gazeux s'il était soumis à la pression atmosphérique à l'instant t
V_{lu}	: volume de gaz lu sur la règle graduée de la colonne à l'instant t..

élevé que le sommet de la colonne, permet à l'eau de se déverser dans un évier par un système de trop-plein.

Etat du système au moment de la mise en route

Avant le début de toute période de mesure, la partie reliant le flacon récepteur à la colonne est ouverte sur l'extérieur. La colonne et le tube qui lui est adjacent sont remplis par le bas jusqu'à ce que le niveau d'eau atteigne le haut de la colonne (fig 2). Une fois le remplissage terminé, un système de robinets ne laisse en communication que la colonne et son tube. La colonne est alors reliée de manière hermétique au flacon récepteur qui ne contient, à ce moment-là, que les 10 ml de chlorure mercurique. Le système se trouve dans cet état, dit état initial, au moment de chaque changement de sachet, soit généralement toutes les 24 h.

Etat du système t *heures après la mise en route*

De la salive artificielle est infusée continuellement dans le fermenteur avec un débit constant, grâce à une pompe péristaltique. La dégradation des substrats placés dans les sachets de nylon induit la production de gaz de fermentation. C'est donc un mélange d'effluents liquides et gazeux qui quitte le fermenteur, lui-même soumis à une agitation verticale continuelle, et qui est recueilli dans le flacon récepteur (fig 3). Comme le fermenteur est plein au moment de la mise en route, le début du remplissage du flacon récepteur par les effluents liquides et gazeux a donc lieu dans les minutes qui suivent la mise en route du système. En faisant l'approximation que le débit d'effluents liquides dans le flacon récepteur est à peu près constant pendant les n heures qui séparent 2 ouvertures successives du système, ce qui correspond aux retours au système initial (changement de sachet, flacon récepteur vide et

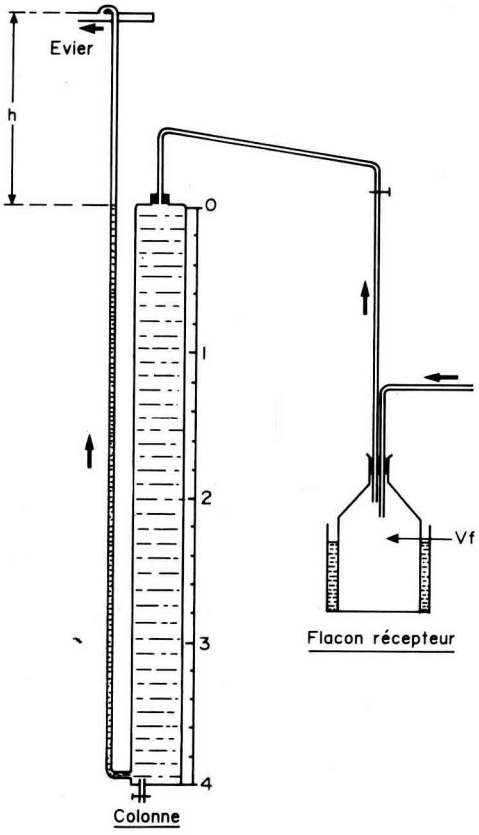

Fig 2. Etat du système à la mise en route.

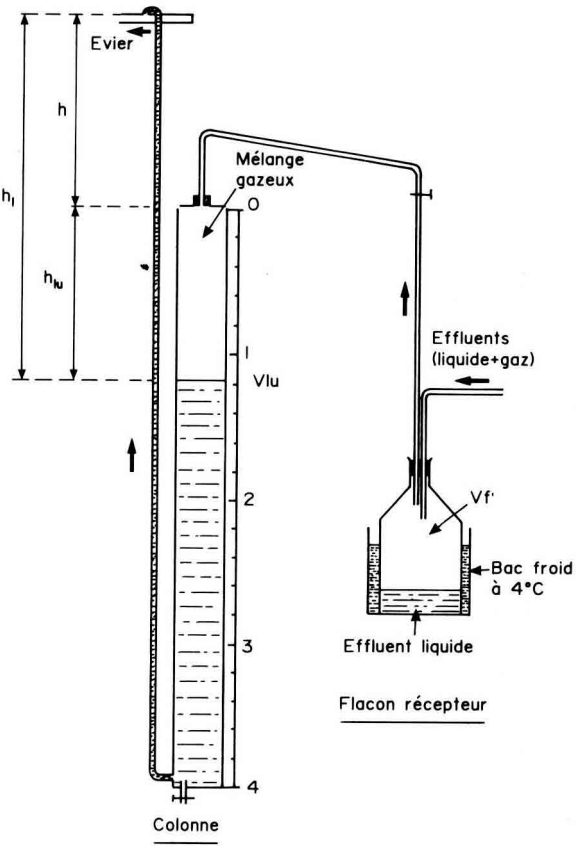

Fig 3. Etat du système après *t* h.

propre, colonne en verre remplie d'eau), puisque le débit d'introduction de salive est constant et le fermenteur plein à tout moment, le volume occupé par le gaz, *t* heures après la mise en route, dans le flacon récepteur ($V_{f'}$) est fonction du volume du flacon récepteur vide (V_f) et du volume total d'effluents (V_e) suivant la relation :

$$V_{f'} = V_f - (t/n)\, V_e$$

Les gaz peuvent sortir du flacon récepteur sous l'effet d'une surpression qui pousse l'eau de la colonne vers le tube vertical et son trop-plein. La colonne est munie d'une règle graduée permettant de lire directement le volume de gaz emprisonné entre son sommet et la surface de l'eau (V_{lu}).

Cependant, comme le système est en surpression, il faut corriger ce volume *lu*, puisque le volume cherché correspond au volume qu'occuperaient les gaz de fermentation, si le gaz dégagé se trouvait soumis à la pression atmosphérique. De plus, il faut tenir compte du fait que le système a emprisonné de l'air, au niveau du flacon récepteur, à la pression atmosphérique, au début de l'expérience.

EXPRESSION DU MODE DE CORRECTION DES VALEURS LUES

Comme la pression du gaz est pratiquement constante quel que soit l'endroit du récipient contenant ce gaz, la pression P du mélange gazeux à l'instant t est celle qui s'exerce à la limite entre le gaz et le liquide dans la colonne. Selon le principe fondamental de l'hydrostatique, la différence de pression entre deux points quelconques d'un liquide homogène en équilibre est égal au produit du poids volumique w de ce liquide par la distance des plans horizontaux qui les séparent.

Selon le principe des vases communicants, la pression est la même dans un liquide à une hauteur donnée. De ce fait, la pression P est égale à la somme de la pression atmosphérique et de celle exercée par une hauteur d'eau h_1 (fig 3). Or, h_1 est égale à la somme des hauteurs h et h_{lu}.

$$\begin{aligned} P &= P_{atm} + w\, h_1 \\ &= P_{atm} + w\,(h + h_{lu}) \\ &= P_{atm} + w\,(h + a\, V_{lu}) \end{aligned}$$

Selon la loi de Mariotte (PV = constante), le volume total du mélange gazeux V_g, s'il était soumis à la pression atmosphérique P_{atm}, serait à un instant t :

$$V_{g\,atm} = V_g \frac{P}{P_{atm}}$$

Or, comme le volume V_g est égal à la somme des volumes de gaz dans la colonne (V_{lu}) et dans le flacon récepteur (V_f),

$$V_{g\,atm} = (V_{lu} + V_f)\, \frac{P_{atm} + w\,(h + a\, V_{lu})}{P_{atm}}$$

$$= (V_{lu} + V_f - \frac{t}{n} V_e)\,(1 + \frac{w\,(h + a\, V_{lu})}{P_{atm}})$$

Le volume de gaz de fermentation recherché $V_{g'}$ est égal à ce volume $V_{g\,atm}$ diminué du volume d'air qui se trouvait, à la pression atmosphérique, dans le flacon récepteur au début de l'expérience (V_f) :

$$\begin{aligned} V_{g'} &= V_{g\,atm} - V_f \\ &= (V_{lu} + V_f - \frac{t}{n} V_e\,(1 + \frac{w\,(h + a\, V_{lu})}{P_{atm}}) - V_f \end{aligned}$$

Dans cette expression, certains termes sont constants : w est un constante physique, égale à 9 800 N/m^3 pour l'eau, et la pression atmosphérique a été supposée constante et égale à 1 015 mbar, soit 1,015 10^5 Pa, du fait de l'amplitude négligeable de ses variations.

De ce fait,

$$V_{g'} = (V_{lu} + V_f - \frac{t}{n} V_e)\,[1 + \frac{9800\,(h + a\, V_{lu})}{1013.10^5}] - V_f$$

De plus, certains termes sont constants pour un fermenteur donné : V_f, a et h. De ce fait, les seules variables sont V_{lu}, V_e, t et n. Le calcul se réduit donc à une expression facile à tabuler sur un logiciel comme Multiplan.

APPLICATIONS PRATIQUES

Validation du système

L'étanchéité du système peut être testée en faisant passer de l'eau dans l'ensemble du dispositif. Dans ce cas, le volume $V_{g'}$ devrait être égal à 0, puisqu'il n'y a pas de fermentation.

Sur un ensemble de 4 fermenteurs, la valeur moyenne lue *(V_{lu})* a été de 0,860 l avec un écart type de 0,016, et la valeur corrigée de 0,019 l, avec un écart type de 0,025. Or, le volume d'eau emprisonné dans le tube vertical, sur la hauteur comprise entre le niveau d'eau dans la colonne et le trop-plein est de l'ordre de 0,015 l. Ceci permet de dire que la précision du système est tout à fait satisfaisante.

Etude d'une cinétique de dégagement gazeux

La figure 4 correspond aux courbes d'évolution des volumes lus et corrigés pour une cinétique de gaz issus des fermentations. Il est à noter, qu'au début de la cinétique, le volume corrigé est supérieur au volume lu, car le gaz doit vaincre la pression exercée par les 30 cm d'eau *(h)* avant que le système de trop-plein ne se mette en route. Pratiquement, avec les substrats étudiés, ceci se fait dans les 10 min qui suivent la mise en route du système. Au bout de 23 h, ce qui correspond à la durée d'une cinétique, l'écart entre les valeurs lue et corrigée peut être important (3,12 *vs* 2,42 l), soit une diminution relative de 23%.

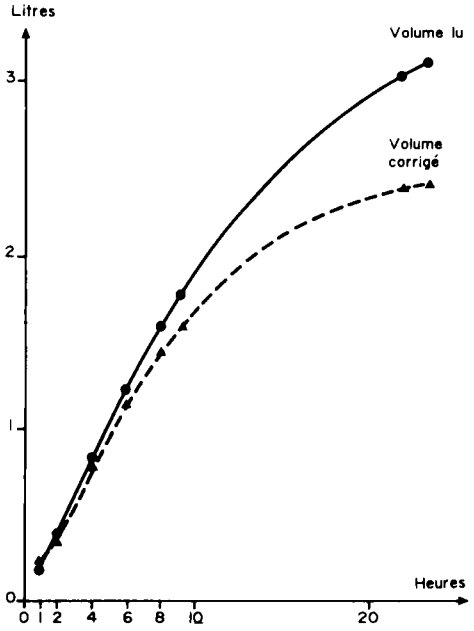

Fig 4. Comparaison entre les cinétiques des dégagements gazeux lus et corrigés.

CONCLUSION

En conclusion, le système que nous utilisons est relativement simple à mettre en place et permet de suivre aisément les cinétiques de dégagement gazeux. La démarche que nous avons utilisée peut également être appliquée aux systèmes munis de capteurs de pression et utilisés en biotechnologie. Il nous paraît important de souligner l'importance des variations de volume liées aux surpressions gazeuses et de les intégrer, quel que soit le système de mesures utilisé.

RÉFÉRENCES

Blanchart G, Durand M, Barry JL, Bouiller-Oudot M, Jouany JP (1989) Intérêts et limites des fermenteurs à flux semi-continu de type RUSITEC dans l'étude des fermentations dans le rumen. *Ann Zootech* 38, 285-314

Czerkawski JW, Breckenridge G (1977) Design and development of a long-term rumen simulation technique (RUSITEC). *Br J Nutr* 38, 371-384

Komisarczuk S (1985) Étude de l'influence du phosphore sur l'activité fermentaire, la protéosynthèse et les teneurs en ATP de contenus de rumen dans différents systèmes de culture continus. Thèse, Orsay, Docteur en Sciences Univ de Paris-Sud