



HAL
open science

Dérives des analyseurs d'O₂ et de CO₂ dues aux variations de la pression atmosphérique : conséquences et corrections pour la détermination des dépenses énergétiques de l'homme

Christophe Montaurier

► **To cite this version:**

Christophe Montaurier. Dérives des analyseurs d'O₂ et de CO₂ dues aux variations de la pression atmosphérique : conséquences et corrections pour la détermination des dépenses énergétiques de l'homme. Journées de la Mesure et de la Métrologie (J2M), Oct 2006, Balaruc les Bains, France. hal-01600145

HAL Id: hal-01600145

<https://hal.science/hal-01600145>

Submitted on 3 Jun 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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

Dérives des analyseurs d'O₂ et de CO₂ dues aux variations de la pression atmosphérique : conséquences et corrections pour la détermination des dépenses énergétiques de l'homme

Christophe MONTAURIER

INRA, UNH – MLE, BP 321- 63009 Clermont Ferrand Cedex 1

I- Contexte de l'étude

Sur le site de Clermont Ferrand, les dépenses énergétiques (DE) de l'homme sont déterminées en continu sur 24 heures par calorimétrie indirecte à l'aide de deux chambres calorimétriques. Elles sont calculées à partir de la consommation d'oxygène (O₂) et de la production de dioxyde de carbone (CO₂). Les données des différents capteurs, dont le capteur de pression atmosphérique (Pat), et analyseurs de gaz sont stockées chaque minute sur PC via une centrale d'acquisition.

Chaque chambre calorimétrique du Laboratoire de Nutrition Humaine (LNH) est équipée d'un analyseur d'O₂ et d'un analyseur de CO₂, différentiels et de grande précision : Oxygors 610 et Unors 610 (Société Maihak-France à Montmagny, France). La plage de mesure des analyseurs est de 1 % de concentration. Les échelles sont les suivantes : de 20 % à 21 % pour les Oxygors de 0 % à 1 % pour les Unors. De plus les faibles variations de concentration de gaz dans les chambres calorimétriques exigent de ces appareils une résolution au millième de pour-cent (0,001 %).

Ces analyseurs utilisent comme gaz de référence écoulant l'air atmosphérique pris dans une pièce située au sous-sol du bâtiment et ouverte sur l'extérieur, pour éviter les effets du vent sur les débits de ventilation des chambres. L'air atmosphérique est utilisé pour contrôler le "zéro" différentiel de chaque analyseur de gaz : point haut de l'échelle de mesure des Oxygors et point bas de l'échelle de mesure des Unors. Le contrôle d'étalonnage de la pleine échelle différentielle des analyseurs est effectué à l'aide d'un mélange gazeux étalon : point bas de l'échelle de mesure des Oxygors et point haut de l'échelle de mesure des Unors.

Les points de contrôle d'étalonnage se situent donc dans les zones extrêmes des échelles de mesure.

La détermination précise des cinétiques de dépense énergétique des sujets à partir des concentrations de gaz dans les chambres nécessite une grande stabilité des analyseurs.

Les DE sont calculées à partir des volumes d'O₂ consommé (VO₂) et de CO₂ produit (VCO₂) par le volontaire en chambre calorimétrique pour une période donnée.

L'équation est la suivante : $DE \text{ (kCal)} = (3,866 * VO_2 + 1,2 * VCO_2) * 0,99$

Ces volumes sont eux même calculés à partir des débits d'air entrant/sortant des chambres et des concentrations en O₂ et CO₂.

II- Constat et analyse du phénomène

Au cours des expérimentations et des contrôles d'étalonnage, il est apparu que les points de contrôle des analyseurs subissaient des dérives. La température et l'humidité étant contrôlées, l'une au niveau des analyseurs et l'autre à l'aide de déshydrateurs à effet Peltier, ces facteurs doivent peu intervenir sur les dérives des analyseurs. En revanche les analyseurs de gaz semblent sensibles aux variations de pression atmosphérique. Malgré l'utilisation d'un système de compensation de dérive, on observe une dérive des points de contrôle des analyseurs sous l'influence des variations de pression atmosphérique.

II-1 Visualisation du phénomène

L'enregistrement en continu des mesures des analyseurs sur des mélanges gazeux connus et stables permet de visualiser leur comportement vis à vis des variations de Pat (Δ Pat). Les mélanges gazeux choisis sont ceux qui permettent d'effectuer les contrôles d'étalonnage habituels.

Les mesures ont été faites sur une durée minimum de 8 heures. Les valeurs enregistrées, en acquisition minute par minute, portent sur la pression atmosphérique et les concentrations d'O₂ (Fig1) et de CO₂ (Fig2) dans l'air de référence et dans un mélange gazeux équivalent au gaz étalon.

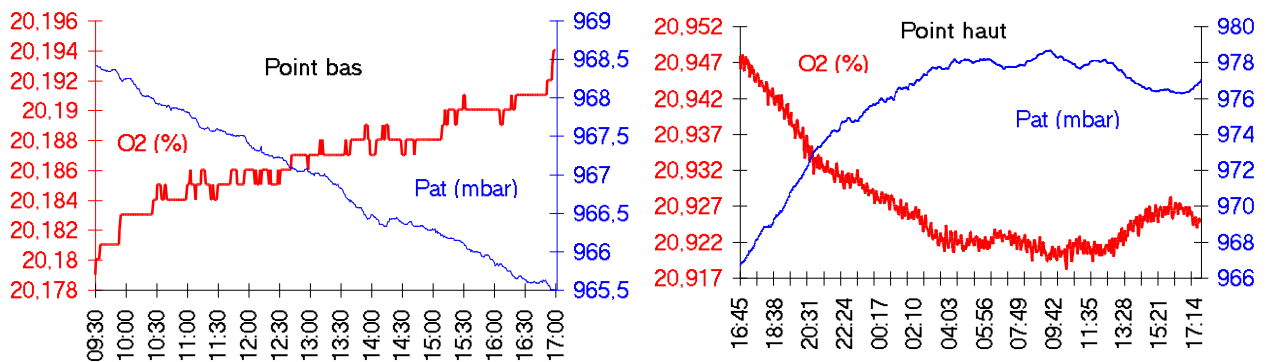


Fig1 : tracés de l'évolution de la Pat (mbar) et des mesures de l'O₂ par un Oxygor (%) pour le gaz étalon (points bas de l'échelle de mesure), et l'air de référence (point haut).

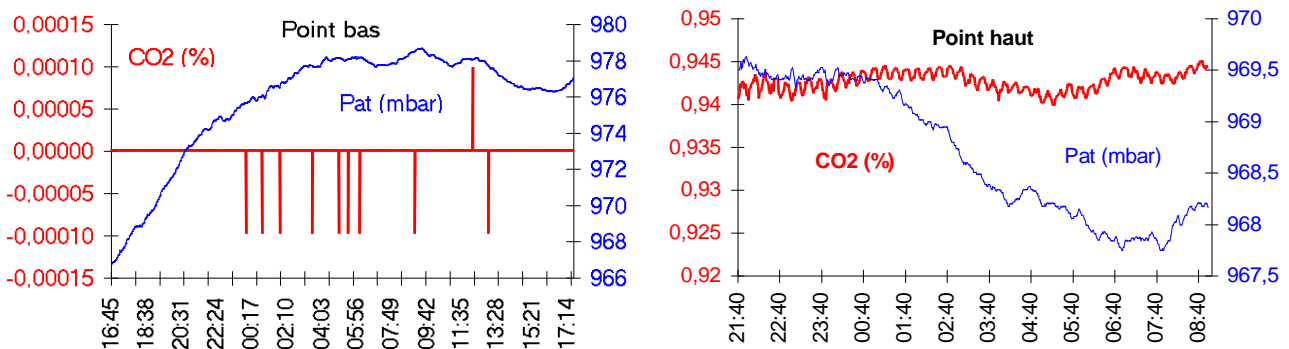


Fig2 : tracés de l'évolution de la Pat (mbar) et des mesures du CO₂ par un Unor (%) pour le gaz étalon (points bas de l'échelle de mesure), et l'air de référence (point haut).

La Fig1 permet de bien visualiser la corrélation inverse existante entre l'évolution de la Pat et les dérives de l'Oxygor pour des valeurs situées aux niveaux des points bas et haut de l'échelle de mesure ($r^2=0,93$ et $0,64$ pour l'Oxygor 1 respectivement au point bas et haut, et $r^2=0,81$ et $0,98$ pour l'Oxygor 2 respectivement au point bas et haut).

En revanche la Fig2 montre une absence de dérive du point bas de l'Unor. Pour le point haut le tracé ne met pas non plus de corrélation en évidence. Il n'y a donc pas d'influence significative des variations de la pression atmosphérique sur la dérive des points bas et haut de l'Unor.

II-1- Quantification des dérives en fonction des variations de la pression atmosphérique (Δ Pat)

Le constructeur indique une dérive maximum de 1,5 % et 0,6 % de la plage de mesure respectivement pour les Oxygors (O₂) et les Unors (CO₂), pour une variation de 10 mbar de la pression atmosphérique, sans compensation interne. Avec compensation interne ces valeurs seraient théoriquement respectivement de 0,2 % et 0,1 %.

Afin d'obtenir un reflet du comportement réel type de chaque analyseur, il a été procédé à des relevés de tous les points de contrôles sur une durée d'un an, soit 145 points pour la période considérée. Ceci a permis d'obtenir les caractéristiques moyennes des analyseurs et de modérer d'éventuels comportements ponctuels excessifs, comme notamment les battements dus à la régulation thermique interne.

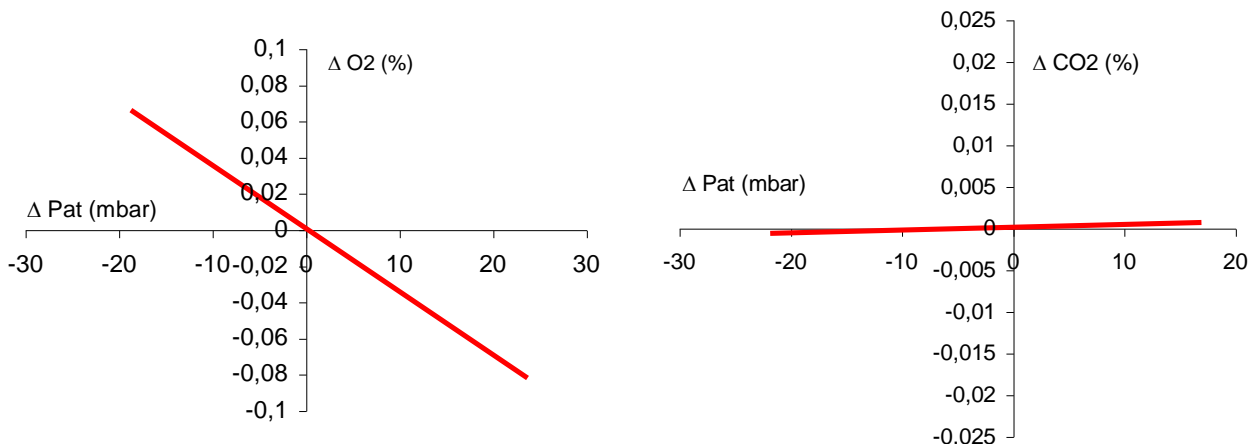


Fig3 : exemples de tracés de la dérive du point de contrôle bas d'un Oxygor (à gauche) et du point de contrôle haut d'un Unor (à droite), en fonction des Δ Pat.

Les tracés ci dessus (Fig3) donnent un aperçu des dérives des points de contrôles en fonction des variations de la Pat. On peut établir une régression linéaire ($y = a x + b$) entre chaque dérive et l'évolution de la Pat. L'ensemble des relations ainsi obtenues pour les points de contrôles des différents analyseurs est exposé ci-dessous (Tab1).

		a (% / mbar)	b (%)	r²
Oxygor 1	Point bas	-0,0016 §	0,0004	0,59
	Point haut	9,60 E-05 #	0,0003	0,03
Oxygor 2	Point bas	-0,0035 §	0,0008	0,79
	Point haut	-0,0021 §	0,0013	0,65
Unor 1	Point bas	-4,94 E-06	-2,10 E-05	0,00
	Point haut	3,37 E-05	0,0001	0,00
Unor 2	Point bas	3,99 E-06	-3,22 E-05	0,00
	Point haut	0,0001	0,0001	0,01

Tab1 : coefficients des régressions linéaires reliant les dérives des points de contrôles bas et haut des analyseurs aux Δ Pat. Pour les pentes significativement différentes de zéro, # : $P < 0,05$, et § : $P < 0,001$.

Les pentes des régressions des dérives des Oxygors sont toutes significativement différentes de zéro ($P < 0,001$ et $P < 0,05$) pour les deux points de contrôles. Ces résultats confirment avec rigueur l'influence significative des Δ Pat sur les dérives des Oxygors.

En revanche les pentes des dérives des Unors ne sont pas significativement différentes de zéro, ce qui démontre une absence d'influence des Δ Pat sur les dérives des Unors.

L'ensemble de ces résultats nous montre qu'une prise en compte des dérives des points de contrôles bas et haut des Oxygor par rapport aux Δ Pat est nécessaire. En conséquence, pour que les calculs de DE ne soient pas entachés d'erreur dû au phénomène observé ici, il faut apporter des corrections aux valeurs enregistrées à partir des mesures des Oxygors.

D'après ce qui précède aucune correction n'est à apporter concernant les mesures des Unors.

En comparant nos résultats aux données du constructeur, on constate que l'Oxygor 1 semble bien compensé pour le point haut mais pas pour le point bas, alors que l'Oxygor ne l'est ni pour l'un ni pour l'autre.

III- Répercussions sur les DE

Dans la mesure où les Unors ne subissent pas de dérives significatives due aux Δ Pat, seules les dérives des Oxygors sont considérées pour le reste de cette étude.

Pour évaluer les répercussions des dérives conséquentes des Oxygors, on peut prendre l'exemple d'une Δ Pat de 10 mbar qui évolue linéairement sur 10h ou 24h, selon la durée d'enregistrement ou la période étudiée. Ces cas sont tout à fait concrets et ont déjà été observés.

Il est intéressant d'évaluer l'erreur moyenne répercutée sur la DE cumulée au cours d'une longue période (10h ou 24h), ainsi que l'erreur ponctuelle pour une période très courte (5mn) située dans la zone où la Δ Pat est maximum (en fin de fichier pour notre exemple).

Le bilan de ces erreurs est présenté dans le tableau suivant (Tab2).

	Erreur moyenne (%)		Erreur ponctuelle sur 5mn (%)	
	Fichier 10h	Fichier 24h	Fichier 10h	Fichier 24h
Oxygor 1	1,6	1,2	3,3	2,5
Oxygor 2	4,2	3,3	9,6	7,6

Tab2 : Exemple d'erreurs moyennes répercutées sur des valeurs de DE cumulées sur 10h ou 24h, ainsi que des erreurs ponctuelles engendrées au plus fort de la Δ Pat pour chacun des fichiers, par les dérives respectives de chacun des 2 Oxygors.

L'erreur minimale répercutée (Oxygor 1) observée ici est de 1,2 % sur la valeur des DE 24h d'un individu ce qui représente une erreur d'environ 35 kCal. Sur une période de mesure plus courte et avec une Δ Pat de même amplitude mais plus rapide (10h au lieu de 24h) cette erreur peut être portée à 4,2 %, soit environ 70 kCal, dans le cas de l'Oxygor 2.

Lorsque l'on fait une étude des cinétiques de la DE d'un individu, les périodes considérées sont courtes (5 mn minimum). D'après notre exemple, l'erreur commise par la dérive de l'Oxygor 2 sur la valeur de DE_{5mn} peut alors se situer vers 9,6 % au plus fort de la Δ Pat.

Ces observations montrent clairement la nécessité de corriger les dérives des analyseurs d'O₂.

IV- Méthode de correction

IV-1- Choix des coefficients correcteurs

Le but est de corriger les fichiers enregistrés lors de passages de volontaires en chambres calorimétriques. La méthode de correction consiste à utiliser la relation linéaire qui lie les variations de la pression atmosphérique à la dérive correspondante du point de contrôle d'étalonnage considéré.

Les coefficients correspondent aux relations $\frac{\Delta C_b}{\Delta Pat}$ et $\frac{\Delta C_h}{\Delta Pat}$.

$\frac{\Delta C_b}{\Delta Pat}$: pente de la relation reliant la dérive du point de contrôle bas à la ΔPat .

$\frac{\Delta C_h}{\Delta Pat}$: pente de la relation reliant la dérive du point de contrôle haut à la ΔPat .

Pour le choix des coefficients, deux méthodes sont possibles.

La première (méthode 1) consiste à utiliser les coefficients correspondant aux pentes des régressions des relevés des dérives des points de contrôle des analyseurs en fonction des ΔPat (Fig3). Plus forte est la variation de la pression atmosphérique, plus la dérive de chaque analyseur est importante par rapport au bruit du signal, ou au battement des analyseurs.

Cette méthode a pour avantage de prendre en compte de larges variations de la pression atmosphérique et d'atténuer l'influence des battements internes des analyseurs qui deviennent faibles par rapport aux dérives. En revanche, elle demande un travail lourd (relevés quotidiens des dérives) et ne permet pas de tenir compte des caractéristiques actuelles des analyseurs correspondantes au fichier à traiter.

La seconde (méthode 2) consiste à utiliser les données du fichier à traiter. Contrairement aux mesures effectuées avec des mélanges gazeux de composition constante (paragraphe II-1), on ne peut pas prendre en compte toute la période de mesure, l'évolution des concentrations étant alors soumise à la principale influence des sujets dont on détermine les dépenses énergétiques. On considère alors les valeurs de vérification d'étalonnage des analyseurs en début et en fin de fichier. On connaît la variation totale de la pression atmosphérique et la dérive correspondante de chaque point de contrôle de l'échelle de mesure de chaque analyseur. On calcule alors directement les $\frac{\Delta C_b}{\Delta Pat}$ et $\frac{\Delta C_h}{\Delta Pat}$ de chaque analyseur. Les relations reflètent les caractéristiques actuelles de chaque analyseur. En revanche les contrôles d'étalonnage peuvent être entachés d'erreurs dues aux battements internes des analyseurs

Le choix de la méthode 1 est préférable lorsqu'un fichier est trop "bruité", ou que la variation de la pression atmosphérique est trop faible. Dans les autres cas on choisit la méthode 2.

IV-2- Correction

Pour le traitement d'un fichier, les corrections des concentrations prennent en compte d'une part les dérives des points haut et bas de l'échelle de chaque analyseur entre 2 contrôles d'étalonnage, et d'autre part les écarts entre les valeurs des points de contrôle et les teneurs en O₂ et CO₂ réelles de l'air de référence et du mélange étalon (Fig4).

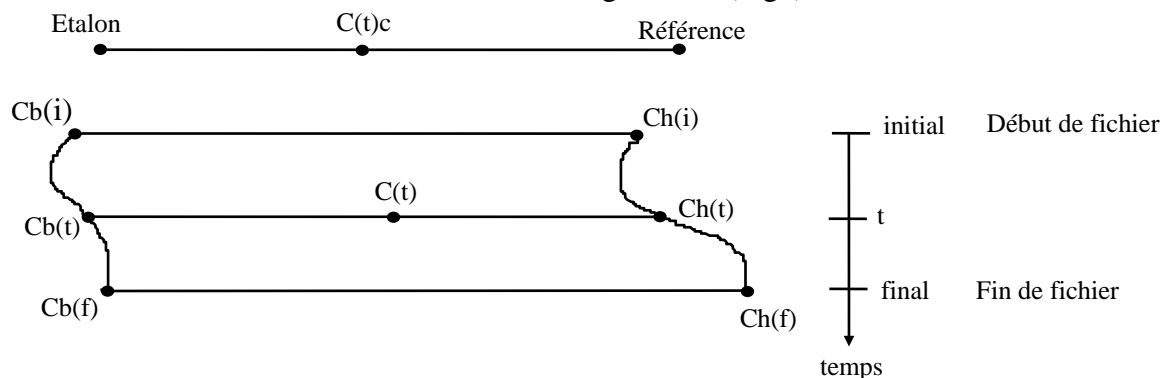


Fig4 : Exemple d'évolution de l'échelle de mesure et de ses points de contrôle, sous l'influence des ΔPat au cours du temps.

Valeurs mesurées :

Cb(i) = valeur initiale du point de contrôle bas
 Ch(i) = valeur initiale du point de contrôle haut
 Cb(f) = valeur finale du point de contrôle bas
 Ch(f) = valeur finale du point de contrôle haut
 C(t) = valeur de la concentration à l'instant t

Valeurs calculées :

Cb(t) = valeur à l'instant t du point de contrôle bas
 Ch(t) = valeur à l'instant t du point de contrôle haut
 C(t)c = valeur de la concentration corrigée à l'instant t

On calcule tout d'abord la variation de la pression atmosphérique entre l'instant t considéré et le début du fichier :

$$\Delta Pat(t) = Pat(t) - Pat(i)$$

On calcule ensuite les valeurs estimées des points de contrôle d'étalonnage, à l'instant t :

$$Cb(t) = Cb(i) + \left[\frac{\Delta Cb}{\Delta Pat} \cdot \Delta Pat(t) \right] \quad Ch(t) = Ch(i) + \left[\frac{\Delta Ch}{\Delta Pat} \cdot \Delta Pat(t) \right]$$

Enfin on calcule les valeurs corrigées de concentration.

Pour l'oxygène :
$$C_{O_2}(t)c = 20,930 - \left[\Delta_{etalon} \cdot \frac{Ch(t) - C(t)}{Ch(t) - Cb(t)} \right]$$

Δ_{etalon} = écart entre la valeur de concentration de l'air atmosphérique et celle du mélange étalon.

VI- Application

Les 2 méthodes de corrections ont été appliquées en exemple au fichier d'enregistrement continu du point haut de l'Oxygène 2 (Fig1 droite). Cet analyseur était alors balayé par l'air de référence (haut d'échelle) dont la valeur connue est à 20,930 %.

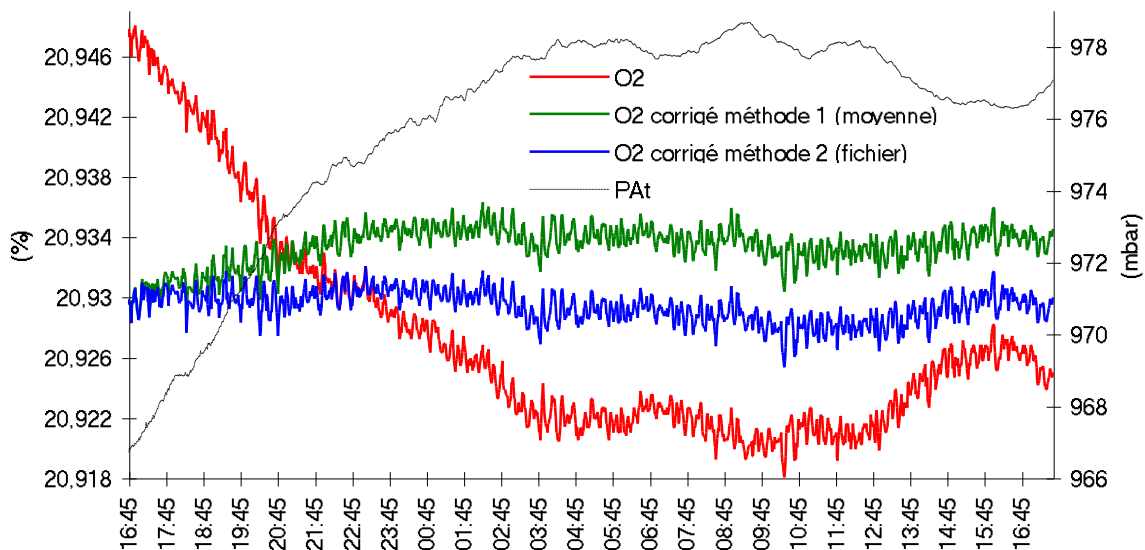


Fig5 : Corrections par les 2 méthodes (1: coefficients moyens; 2: coefficients tirés du fichier à traiter) des valeurs de concentrations mesurées par l'Oxygène 2 sur l'air de référence.

Les tracés (Fig5) montrent que la pression atmosphérique a augmenté de 11 mbar en 11 heures. Les 2 types de corrections améliorent la stabilité de la mesure de la concentration en O₂ de l'air de référence par rapport Δ Pat. Toutefois la méthode 2, utilisant les paramètres du fichier à traiter, et donc actuels par rapport aux caractéristiques de l'analyseur, donne un résultat plus centré autour de la valeur cible (20,930 % pour l'air de référence).

Pour les Oxygors la méthode 2 compense mieux l'influence de l'évolution de la pression atmosphérique que la méthode 1.

Mais dans les deux cas, les résultats montrent clairement la nécessité d'une correction des dérives des Oxygors.

Répercussions sur les DE

On peut propager par les calculs les erreurs des dérives des analyseurs aux estimations des DE. En revanche, le manque d'une source d'énergie étalon ne permet pas de contrôler par la mesure la correction apportée aux DE. Seule la partie correction des mesures des concentrations gazeuses peut être contrôlée avec rigueur.

VI- Conclusion

La maîtrise des dérives des Oxygors fait l'objet d'une attention particulière en raison d'une part de leurs dérives beaucoup plus importantes que celles des Unors et d'autre part d'une influence 3 fois plus élevée pour l'O₂ que pour le CO₂ dans les calculs de DE.

Les tests effectués ici mettent en évidence la nécessité de compenser à posteriori les valeurs mesurées par les analyseurs d'O₂ au cours de périodes longues. Périodes au cours desquelles la Pat peut varier de plus de 10 mbar. Les répercussions des dérives conséquentes des analyseurs d'O₂ sur les calculs de DE ne sont pas négligeables et peuvent même être importantes selon la vitesse de progression de la Pat et la période d'observation de la DE.

L'enregistrement test en continu sur 24h des valeurs mesurées par les analyseurs sur l'air de référence montre l'efficacité de ces corrections. La sensibilité des analyseurs d'O₂ aux variations de Pat, et l'importance du facteur O₂ dans le calcul des dépenses énergétiques, impliquent donc l'utilisation d'une des méthodes de correction proposées ici pour éviter une propagation de ces dérives aux résultats de calcul des DE.