

MESURES DU TAUX DE RENOUVELLEMENT D'AIR DANS LES MULTIVOLUMES
METHODE A CONCENTRATION CONSTANTE
PRESENTATION D'UN SYSTEME DE MESURE MOBILE REALISE PAR LE LNE

SOMMAIRE

- 1 MOTIVATIONS
 - 2 RAPPEL DE LA METHODE
 - 3 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT
 - 4 PRESENTATION DE L'ENSEMBLE PORTABLE
 - 5 AUTONOMIE DU SYSTEME
 - 6 CONCENTRATION EN TRACEUR ADMISSIBLE
 - 7 SECURITE
 - 8 REGULATION
 - 9 RESULTATS EXPERIMENTAUX
 - 10 CONCLUSION
- ANNEXE 1 : SCHEMAS DE PRINCIPE
- ANNEXE 2 : EFFICACITE DE LA REGULATION
- ANNEXE 3 : INFLUENCE DU MODE DE PRELEVEMENT

LNE septembre 1989

1 MOTIVATIONS

La détermination expérimentale du taux de renouvellement d'air d'un local est indispensable pour obtenir les données nécessaires à la validation des modèles de calcul du taux d'introduction d'air neuf existants.

La méthode de mesure du taux de renouvellement d'air la plus employée est basée sur l'étude de la décroissance de la concentration d'un gaz traceur dans l'air ambiant.

Cette méthode donne de bons résultats en mono-volume.

Pour une configuration en multivolume, l'accès au taux de renouvellement d'air de chaque pièce ne peut être obtenu qu'avec un traitement de l'évolution de la concentration en traceur dans chaque pièce. Ce traitement est possible pour deux volumes et donne des résultats satisfaisants, mais il devient très complexe lorsqu'on travaille en multivolume.

De plus, cette méthode réclame des conditions expérimentales stables et ne donne qu'une information instantanée sur les échanges du local avec l'extérieur.

Pour s'affranchir de ce problème, le LABORATOIRE NATIONAL D'ESSAIS a étudié et mis au point un dispositif fonctionnant à concentration constante.

Ce dispositif est appelé EMMARA (Equipement Mobile de Mesure Automatique de Renouvellement d'Air).

2 RAPPEL DE LA METHODE

Déterminer le renouvellement d'air dans un local par gaz traceur à concentration constante, consiste à analyser l'air du local et à ajuster en permanence le débit de gaz traceur injecté pour maintenir la concentration au niveau souhaité.

Le renouvellement d'air exprime le rapport existant entre le débit d'air neuf entrant dans le local et le volume du local. Il s'écrit:

$$R = d_1 / (C * V)$$

avec:

- R = renouvellement d'air en volume par heure
- d_1 = débit volume de gaz traceur injecté en Nm³/h
- C = concentration de traceur dans l'air (titre volumique)
- V = volume du local en m³

3 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'EMMARA

L'équipement est composé de huit circuits pneumatiques identiques permettant de contrôler huit locaux. Chaque circuit est adressé en ordre séquentiel par le calculateur qui gère l'EMMARA.

Le schéma de principe d'un circuit pneumatique est représenté en annexe 1.

Un circuit (ou voie) est principalement composé de:

- une canalisation souple aller/retour et une pompe à membrane pour prélever et réintroduire en continu un débit d'air Q_{air} de 300 l/h dans le local suivi;
- un débitmètre/régulateur de débit massique pour introduire le gaz traceur dans le débit d'air Q_{air} avant réintroduction dans le local suivi;
- un volume tampon de 2 litres (baudruche) vers lequel un échantillon de Q_{air} est orienté pendant que le circuit n'est pas sélectionné par le calculateur (8/9 ^{ème} du temps de cycle). La vitesse de remplissage de la baudruche est ajustée au moyen d'un débitmètre.
- une électrovanne trois voies qui permet de contrôler le sens de circulation de l'échantillon de gaz de la baudruche.

Les baudruches sont vidées en ordre séquentiel par une pompe à membrane qui alimente un analyseur de protoxyde d'azote à infrarouge.

L'analyseur fournit la valeur de la concentration en N_2O dans l'air du local suivi qui permettra au calculateur d'élaborer la consigne de chaque débitmètre/régulateur de débit massique de traceur.

L'utilisation de baudruches permet de fournir à l'analyseur un échantillon représentatif de l'ambiance réelle du local entre deux analyses, en limitant les effets des pics de concentration aléatoires dus à une dispersion imparfaite du traceur dans l'ambiance.

4 ORGANISATION DE L'ENSEMBLE PORTABLE

Notre souci a été de répartir l'ensemble des matériels dans plusieurs coffrets afin que le transport et la mise en oeuvre de l'EMMARA soient facilités.

L'ensemble se compose de cinq coffrets et d'un calculateur:

- 2 coffrets pneumatiques identiques, de 4 voies chacun, qui permettent l'échantillonnage de l'air et l'injection en gaz traceur dans chaque local suivi.
- 1 coffret pompes équipé de huit pompes de transfert de l'air et de la pompe d'alimentation de l'analyseur.
- un coffret électrique composé de :
 - une centrale de mesure pour l'acquisition et les commandes (cartes entrées-sorties)
 - un tiroir électrique qui regroupe les différentes fonctions de commande des coffrets ainsi que les fonctions de sécurité.
- 1 analyseur infrarouge de protoxyde d'azote (N_2O), avec sortie analogique du signal et télécommande de la gamme de mesure.
- le calculateur pilote l'ensemble, stocke les données et affiche les résultats.

Les coffrets peuvent être superposés, à l'exception du coffret pompes qui doit être indépendant pour éviter la transmission des vibrations des pompes aux débitmètres massiques ou à l'analyseur.

Pour chaque pièce, 4 sondes disposées en losange prélèvent en trois points sur la hauteur. Chaque point est placé au centre d'un volume représentant 1/12 du volume de la pièce.

5 AUTONOMIE DU SYSTEME

Le choix des gammes des débitmètres/régulateurs de débit massique a été fait de façon à maintenir une concentration maximale de 100 ppmV (parties par million en volume) de protoxyde d'azote (Cf 6) dans un logement standard comportant 1 séjour, 4 chambres et 3 locaux pouvant avoir des échanges d'air avec l'extérieur.

Dans ces conditions, l'autonomie est d'une semaine avec une bouteille "B20" et de trois semaines avec une bouteille "B50".

6 CONCENTRATION EN TRACEUR ADMISSIBLE

L'Encyclopédie des Gaz indique que le protoxyde d'azote (ou hémioxyde d'azote) est "dénué de toute action significative"

Vu ses propriétés anesthésiques, des études poussées ont été réalisées par des équipes médicales notamment:

"Effects of chronic exposure to nitrous oxide on methionine synthase activity" par N.H. Sharer, J.J. Numm, J.P. Royson et I. Chanarin paru dans British Journal of Anesthesia (1983, 55, 693).

Ces études indiquent un seuil maximum de 450 ppm de N₂O comme innocuité totale.

Compte tenu de l'autonomie que nous nous sommes imposés (Cf 5), nous avons fixé une consigne maximale de 100 ppm de N₂O.

7 SYSTEME DE SECURITE

L'installation étant conçue pour fonctionner pendant une semaine sans la surveillance d'un opérateur mais en présence des occupants, il nous a paru indispensable de prévoir des systèmes de sécurité destinés à palier les risques de: coupures secteur, fuite de N₂O ou panne sur un composant, malgré la robustesse du système.

Différents équipements ont été mis en place pour assurer les fonctions de sécurité, notamment une électrovanne de sécurité normalement fermée sur l'alimentation en N₂O et divers capteurs ainsi que des procédures de tests automatiques qui permettent d'arrêter l'EMMARA dans une configuration prédéfinie en cas d'urgence.

8 REGULATION

Sur un prototype 2 voies, un algorithme PID a été développé pour réguler les concentrations de gaz traceur. Les paramètres de cet algorithme ont été déterminés de manière semi-empirique et ont été recalés expérimentalement.



En testant cet algorithme dans des cas limites variés, il est apparu rapidement qu'il était nécessaire d'ajuster les paramètres de régulation en fonction de la configuration rencontrée. Une mauvaise estimation du taux de renouvellement d'air pouvant conduire à des dépassements de consigne importants et les constantes de temps du phénomène pouvant être de plusieurs heures, un ajustement manuel des paramètres PID par l'opérateur en début d'essai a été abandonné au profit de la solution suivante.

- Rappel des objectifs:

atteinte du point de consigne rapidement
compensation rapide des perturbations importantes
stabilisation de la concentration et du débit de traceur injecté pour permettre le calcul du renouvellement d'air.

- Méthode

La méthode utilisée se base sur l'analyse des phases transitoires du phénomène et sur le calcul d'un bilan sur le volume de traceur. Les contraintes de la régulation n'imposent pas des calculs rigoureux. Les simplifications mathématiques effectuées sont indiquées dans l'algorithme.

- Algorithme

Notations: C teneur en traceur
 d débit de traceur en Nm³/h
 R taux de renouvellement d'air en Volume par heure
 V volume de la pièce en m³

Instant t_{i-1}

paramètres connus: C_{i-1} , d_{i-1} , R_{i-1}

Instant t_i

$$t_i - t_{i-1} = \Delta t$$

mesure de la concentration C_m

Calcul du taux de renouvellement d'air R_m sur n intervalles de mesure en supposant l'existence de n régimes permanents.

$$R_m = \left(\sum_{k=1}^n \Delta t \cdot d_{i-k} - V \cdot (C_m - C_{i-n}) \right) / \left(V \cdot \sum_{k=0}^{n-1} C_{i-k} \right)$$

Calcul du débit de traceur d_i à injecter pour que la concentration atteigne la consigne C_0 au prochain pas de temps Δt en supposant que le phénomène est du 1^{er} ordre

$$d_i = R_m \cdot V / (1 - \text{EXP}(-R_m \cdot \Delta t)) \cdot (C_0 - C_m \cdot \text{EXP}(-R_m \cdot \Delta t))$$

injection de d_i

$$C_i = C_m, \quad R_i = R_m$$

Cet algorithme a donné des résultats satisfaisants dans diverses configurations.

9 RESULTATS EXPERIMENTAUX

9.1 Efficacité de la régulation : réponse à un changement de régime de la ventilation

Conditions d'essai:

L'essai présenté a été réalisé dans une pièce de 132 m³ communiquant avec un couloir et deux pièces latérales dont les portes sont équipées de grilles en partie basse. Il y a une bouche de reprise au plafond et la climatisation est assurée par un ventilo-convecteur.

La perturbation provoquée est un changement de régime de la ventilation qui fait passer le renouvellement d'air de 1,5 à 0,75 volume / heure.

Les courbes correspondantes sont données en annexe 2.

Commentaires:

Le système atteint sa consigne (30 ppm) en une heure. Le dépassement est inférieur à 5 %.

En régime non perturbé, la concentration est stable à ± 2 %, le débit est stable à ± 10 %, le taux de renouvellement d'air calculé par bilan sur 5 acquisitions (20 mn) est stable à ± 7 %.

Ces fluctuations sont autant imputables à l'algorithme de régulation qu'à l'instabilité du phénomène étudié.

L'algorithme compense la perturbation en 30 mn avec un dépassement de consigne inférieur à 3 %.

9.2 Influence du mode de prélèvement

Conditions d'essai:

L'essai a été réalisé dans une pièce de 55 m³ communiquant avec un couloir. Il y a une bouche d'extraction sur le mur coté porte en partie haute. L'air peut être brassé grâce à un ventilateur oscillant. Divers modes de prélèvement ont été enchaînés grâce à un dispositif électro-pneumatique. L'injection de gaz traceur est réalisée à l'aide d'un tube ventilé.

Les courbes correspondantes sont données en annexe 3.

Commentaires:

Quand un ventilateur oscillant peut être utilisé, un prélèvement en un point est suffisant. (instabilité de la concentration inférieure à ± 2 %)

Dans un cas sans brassage, un système de prélèvement en 12 points permet d'obtenir des résultats exploitables dans la plupart des cas. (instabilité de la concentration inférieure à ± 10 %)

9.3 Influence du mode d'injection

Des essais similaires à ceux décrits en 9.2 ont été réalisés dans la même pièce.

Nous avons comparé le mode d'injection en un point central ventilé à un mode d'injection réalisé en 16 points disposés de part et d'autre des 12 points de prélèvement.

La solution 16 points crée des instabilités importantes dues certainement à la proximité des points de prélèvement et d'injection.

La solution en un point donne des résultats satisfaisants. (instabilité inférieure à + 2 %)

10 CONCLUSION

Le LNE dispose maintenant d'un Equipement Mobile de Mesure Automatique de Renouvellement d'air (EMMARA) qui est opérationnel. Il en existe un second exemplaire.

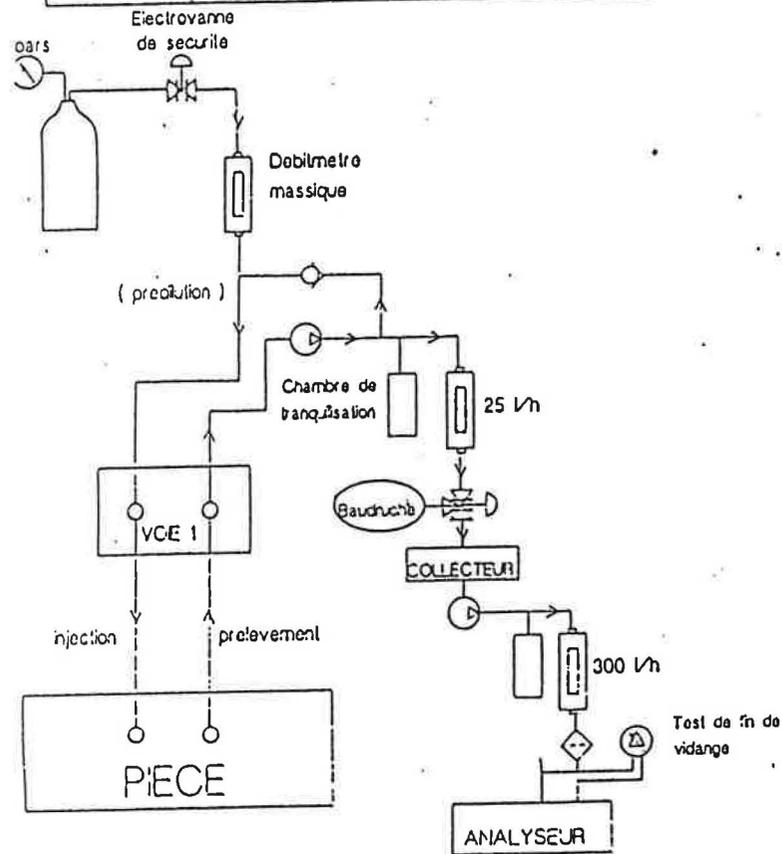
Ce dispositif permet de faire des mesures de taux de renouvellement d'air en utilisant la méthode à concentration constante pendant huit jours dans un logement de huit pièces.

Des essais dans un appartement situé dans une tour sont prévus courant septembre/octobre 1989. A cette occasion le système sera adapté à la télégestion par minitel.

Une autre série d'essais est prévue dans des cellules climatiques à renouvellement d'air connu afin de tester des modèles de calculs de gestion de l'air.

Outre cette application, le dispositif permettra la réception d'installations de VMC ou la réalisation d'expertises.

SCHEMA DE PRINCIPE DU
CIRCUIT INJECTION-PRELEVEMENT



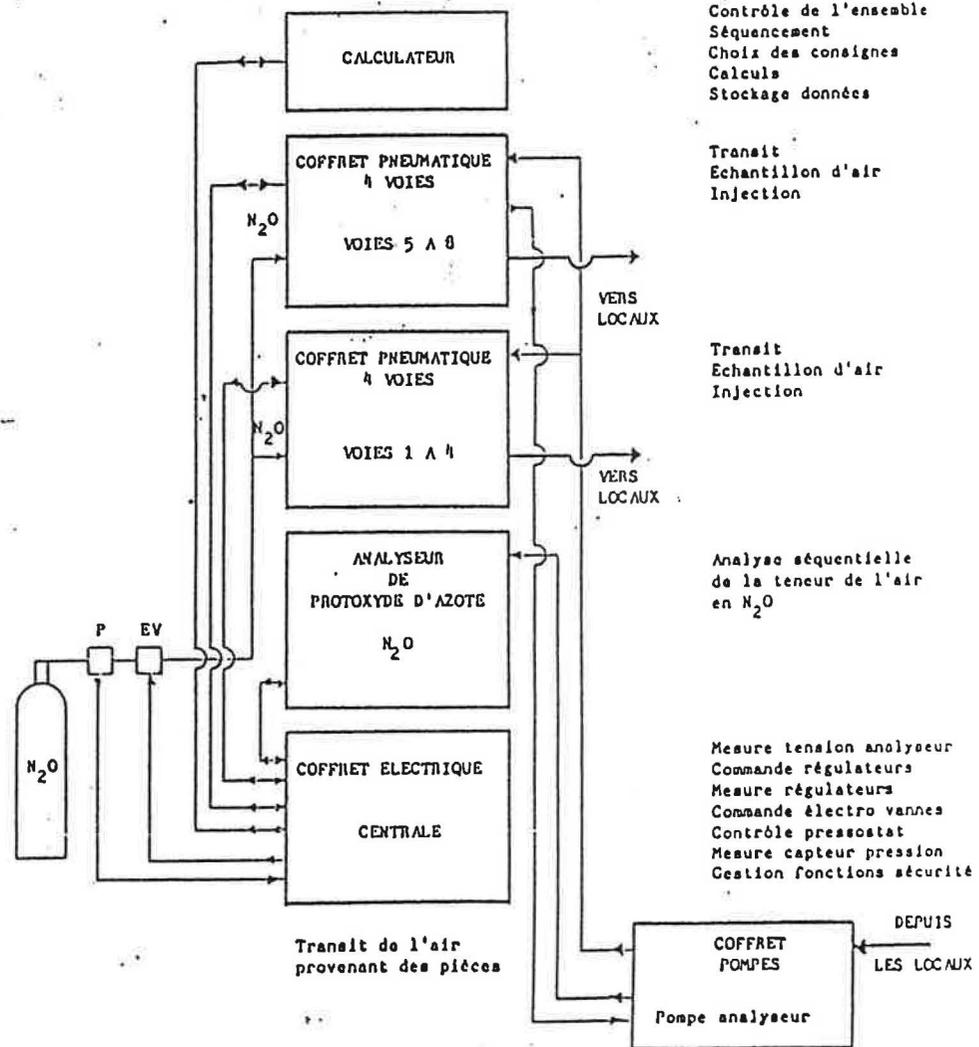
SCHEMA DE PRINCIPE DE L'EMARA

APPAREILS

FONCTIONS

LIAISONS

LIAISONS



Contrôle de l'ensemble
Séquencement
Choix des consignes
Calculs
Stockage données

Transit
Echantillon d'air
Injection

Transit
Echantillon d'air
Injection

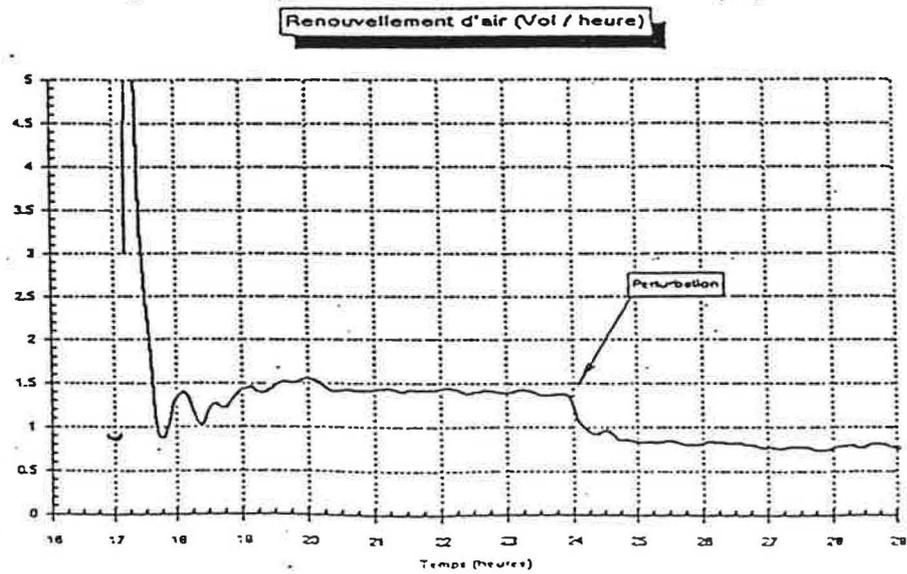
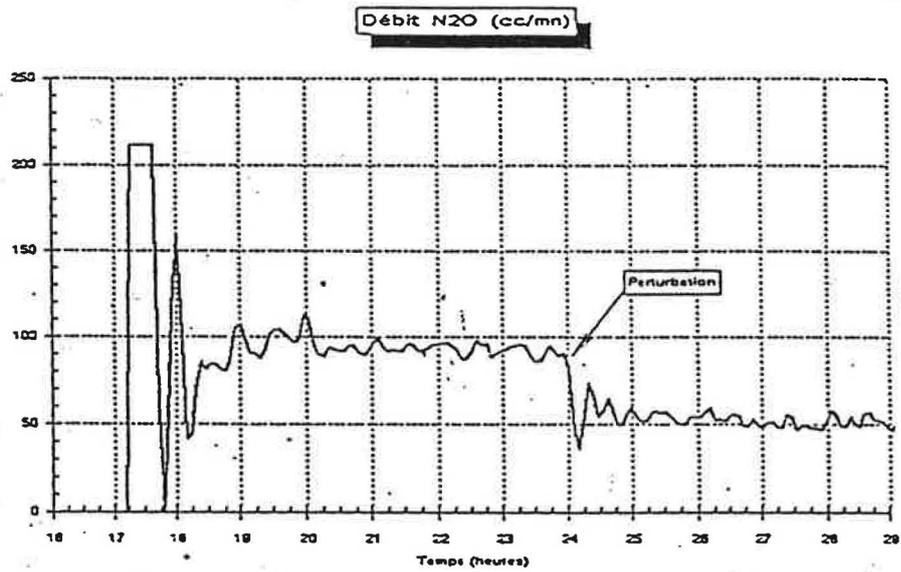
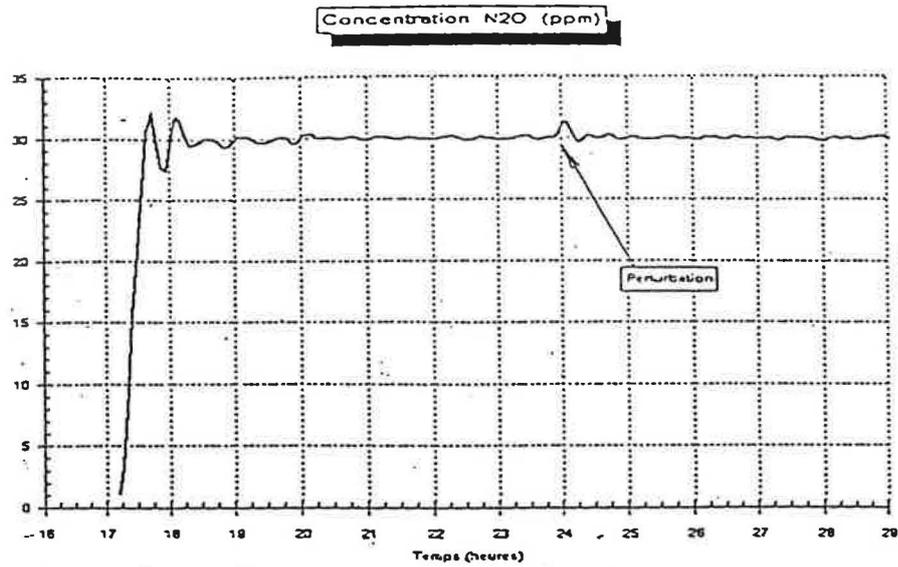
Analyse séquentielle
de la teneur de l'air
en N_2O

Mesure tension analyseur
Commande régulateurs
Mesure régulateurs
Commande électro vannes
Contrôle pressostat
Mesure capteur pression
Gestion fonctions sécurité

Transit de l'air
provenant des pièces

DEPUIS
LES LOCAUX

ANNEXE 2: EFFICACITE DE LA REGULATION



ANNEXE 3: INFLUENCE DU MODE DE PRELEVEMENT

