

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 114 (1988)
Heft: 18

Artikel: Température minimale des gaz de fumée dans les chauffages existants
Autor: Keller, Lucien / Jaccoud, Jean-Patrick
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-76830>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 05.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Température minimale des gaz de fumée dans les chauffages existants

1. Introduction

Lorsque l'on essaie d'économiser de l'énergie dans une installation de chauffage existante, une des premières mesures à envisager est l'ajustement de la puissance du brûleur aux besoins du bâtiment, afin de corriger, dans la mesure du possible, le surdimensionnement de la production d'énergie.

PAR LUCIEN KELLER ET
JEAN-PATRICK JACCOUD,
LAVIGNY

Cette baisse de la puissance du brûleur permet d'obtenir un meilleur rendement de combustion (par abaissement de la température des gaz de fumée) et un meilleur rendement annuel (par une durée de fonctionnement du brûleur plus importante que précédemment). Ces rendements améliorés permettent une économie d'énergie de l'ordre de 5 à 10%, ainsi qu'une diminution correspondante des émissions polluantes.

Or, comme nous venons de le mentionner, une diminution de la puissance du brûleur, par baisse de son litrage, entraîne un abaissement de la température des gaz de fumée pouvant provoquer des problèmes de condensation dans les cheminées, voire dans les chaudières, et occasionner ainsi des dégâts considérables.

Jusqu'à présent, pour tenter d'éviter ces problèmes de corrosion, on s'est toujours fié à des critères plus ou moins arbitraires, variant d'ailleurs d'un organisme à l'autre. On trouve ainsi les valeurs conseillées suivantes,

valables pour des cheminées ne résistant pas à la condensation (non tubées, non vitrifiées):

- plus de 80°C à la sortie de la cheminée (Office fédéral des questions conjoncturelles [1]¹)
- 180°C à la sortie de la chaudière (entreprises s'occupant de l'entretien des brûleurs)
- 160 à 180°C à la sortie de la chaudière (important fabricant de chaudières)
- 140, voire 125°C à la sortie de la chaudière si le clapet reste ouvert (Laboratoire fédéral d'essai des matériaux).

L'on note d'ailleurs un flou similaire au sujet des divers types de canaux de fumée et de leur aptitude à supporter la condensation, les avis à ce sujet étant partagés.

Le présent travail a été effectué dans le but de mieux cerner ce problème de condensation dans les cheminées et de déterminer les conditions dans lesquelles un abaissement notable de la température des gaz est possible, abaissement pouvant conduire à de notables économies d'énergie et, partant, à une diminution des émissions polluantes, par l'amélioration du rendement de combustion (entre 180 et 125°C la différence est de près de 3%) et du rendement annuel (par l'augmentation du temps de fonctionnement du brûleur découlant de la diminution du surdimensionnement qui affecte la quasi-totalité des installations).

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

2. Dégâts dus à la condensation dans les cheminées

Les dégâts dus à la condensation dans les cheminées peuvent être de diverses sortes, et leur gravité ne doit pas être sous-estimée.

Nous avons pu observer les dégâts suivants:

- décollement du crépi qui tombe par plaques (fig. 1)
- infiltrations d'humidité et de goudrons provoquant des taches sur les murs intérieurs et les plafonds
- corrosion totale de cheminées maçonnées, les briques devenant poreuses avant de s'effriter.

On constate donc que ces dégâts peuvent être très importants et leur réparation extrêmement coûteuse. Il est par conséquent fort probable que, chacun voulant éviter tout problème, l'on ait toujours pris d'importantes marges de sécurité en ce qui concerne les températures des gaz, ce que tend d'ailleurs à confirmer le fait que nous ayons eu beaucoup de peine à trouver un nombre significatif de cas de condensation.

3. Types de canaux de fumée

On peut classer les canaux de fumée dans deux catégories: les canaux traditionnels, ne supportant pas la condensation, et les canaux résistant à la condensation.

Parmi les canaux traditionnels, qui seront l'objet de la suite de cette étude, on distingue:

Cette étude a été possible grâce à l'appui financier de l'Etat de Vaud, que nous tenons à remercier ici, ainsi que son représentant, M. P. A. Berthoud, délégué cantonal à l'Energie, pour son soutien durant ce travail.



Fig. 1. - Dégâts à la façade, dus à la condensation dans le conduit de la cheminée.



Fig. 2. - Dégâts à la cheminée, dus à la condensation des gaz de fumée.

- les canaux en briques, maçonnés
- les canaux en boisseaux, les anciens n'étant pas isolés, les plus récents étant parfois pourvus d'une isolation.

Parmi les canaux résistant à la condensation, canaux dont nous allons brièvement donner les caractéristiques principales ci-dessous, on distingue :

- les boisseaux en chamotte, ventilés
- les canaux vitrifiés
- les tubes en acier inoxydable
- les tubes en aluminium
- les tubes en polyéthylène.

Il faut noter que chacun de ces types de canaux présente certains inconvénients, parfois mineurs, et qu'aucun d'entre eux ne fait l'unanimité, ce qui ne veut surtout pas dire qu'il ne faut pas les utiliser !

Les boisseaux en chamotte absorbent l'eau, et on peut se demander si leur isolation n'est pas aussi chargée d'humidité ; la ventilation de la cheminée, nécessaire pour évacuer l'humidité ayant traversé le conduit, peut provoquer des déperditions d'énergie par un renouvellement de l'air de la chaudière plus important que nécessaire.

Les canaux vitrifiés ne supportent qu'une très faible surpression ; à condition de prévoir une section suffisante (le fournisseur y veille, mais il faut lui poser la question avant d'avoir coulé des dalles avec des percements trop petits !), ils constituent une très bonne solution.

Les tubes en acier inoxydable semblent être la panacée, bien que des cas de corrosion, que nous n'avons pas pu vérifier, aient été signalés et que certains leur prédisent une faible espérance de vie.

Les tubes en aluminium sont peu utilisés et sont à proscrire dès que l'on a de la condensation, du fait de problèmes de corrosion.

Les tubes en polyéthylène pourraient, à notre avis, constituer une excellente solution, mais dans le canton de Vaud (dans d'autres cantons il en va différemment), ils ne sont pas (encore ?) autorisés par l'ECA ; notons tout de même que certains ont des doutes quant à leur durée de vie.

Les coûts comparatifs approximatifs de ces solutions peuvent être estimés comme suit (cas d'une chaudière de 50 kW et d'une cheminée de 15 m) :

- boisseaux en chamotte, ventilés, isolés : Fr. 4000.-
- canaux vitrifiés, isolés : Fr. 4000.-
- tubes en acier inoxydable rigides, isolés : Fr. 10000.-
- tubes en acier inoxydable souples, non isolés : Fr. 2500.-
- tubes en polyéthylène, non isolés : Fr. 3000.-

Les remarques et critères mentionnés ci-dessus devraient permettre le bon

choix dans tous les cas, de plus en plus nombreux, d'installation de chaudières à condensation, ou dans les cas de chaudières traditionnelles posant un problème.

4. Composition des gaz de fumée

4.1. Mazout

Mis à part les dangereux oxydes d'azote (NO_x), résultant d'une combinaison entre azote et oxygène de l'air et dont la formation ne dépend donc pas du combustible, la composition des gaz de fumée dépend uniquement du rapport entre quantité de combustible et quantité d'air. On effectue toujours la combustion avec un léger excès d'air, afin d'éviter la formation de suie. De plus, après la combustion, les gaz sont la plupart du temps dilués par de l'air entrant soit par des inéchantés des conduits d'évacuation, soit par le clapet d'explosion volontairement ouvert.

Pour un excès d'air de 20 % volume, les gaz de fumée auront la composition donnée dans le tableau 1 [2] :

TABLEAU 1. - Composition des gaz de fumée lors de la combustion de mazout EL, avec un excès d'air de 20 %.

Composé	Proportion %
CO_2 (gaz carbonique)	11,4
H_2O (eau)	10,3*
O_2 (oxygène)	3,3
N_2 (azote)	74,9
SO_2 (anhydride sulfureux)	0,01

* L'humidité de l'air peut modifier ce chiffre, mais de manière très faible (moins de 0,5 %), ce qui fait que l'on ne commet qu'une erreur minime en négligeant cette influence.

La concentration en vapeur d'eau, élément primordial en ce qui concerne la condensation, varie comme indiqué dans le tableau 2 [3] en fonction de l'excès d'air. Comme nous le verrons plus loin, cette variation est proportionnelle à la variation du taux de gaz carbonique (CO_2), composé facile à mesurer.

TABLEAU 2. - Variation de la teneur en eau en fonction de l'excès d'air.

Excès d'air (%)	Teneur en eau (%)
0	12,3
20	10,35
40	8,95
60	7,85
80	7,0

La teneur en anhydride sulfureux (SO_2) indiquée dans le tableau 1 est évidemment valable pour la teneur actuelle en soufre du combustible,

teneur qui est de 0,16 % en moyenne (maximum autorisé : 0,2 %).

En ce qui concerne la condensation et la corrosion, l'anhydride sulfureux n'est pas dangereux en lui-même, le composé du soufre qui pose des problèmes étant l'acide sulfurique (H_2SO_4) qui se forme par oxydation, puis hydratation de l'anhydride sulfureux.

La concentration en acide sulfurique des gaz de fumée dépend de la vitesse à laquelle cet acide se forme ; cette vitesse est elle-même dépendante de nombreux facteurs tels que le type de chaudière, sa charge, son encrassement (il se forme plus d'acide si la chaudière est encrassée), etc.

Ces divers paramètres ont été décrits dans une intéressante étude sur la corrosion des chaudières, étude effectuée par M. Koebel et M. Elsener [3]. Pour fixer les ordres de grandeur, on estime qu'une quantité comprise entre 0,5 et 8 % du soufre contenu dans le combustible se transforme en acide [4] [5].

4.2. Gaz naturel

La composition des gaz de fumée avec un excès d'air de 20 % est donnée dans le tableau 3 [2]. Les molécules composant le gaz contenant environ 2 fois plus d'hydrogène que les molécules composant le mazout, on constate évidemment que la quantité de vapeur d'eau est beaucoup plus importante que dans le cas du mazout. Le problème de la condensation d'eau sera donc bien plus important ; en revanche, il n'y aura aucun problème de condensation d'acide sulfurique.

TABLEAU 3. - Composition des gaz de fumée lors de la combustion de gaz naturel, avec un excès d'air de 20 %.

Composé	Proportion (%)
CO_2 (gaz carbonique)	8,3
H_2O (eau)	15,2
O_2 (oxygène)	3,2
N_2 (azote)	73,3
He (hélium)	0,008
SO_2 (anhydride sulfureux)	-

5. Phénomènes de condensation

5.1. Eau

Le point de rosée de l'eau en fonction de la teneur en vapeur d'eau est bien connu [6] et est donné dans la figure 3, dans laquelle nous avons rajouté les concentrations en gaz carbonique (CO_2) correspondantes pour les deux combustibles mazout EL et gaz naturel.

En effet, l'eau et le gaz carbonique étant les produits de la réaction chimique entre le combustible et l'oxygène de l'air, le rapport entre les quantités de ces deux produits est constant (à la

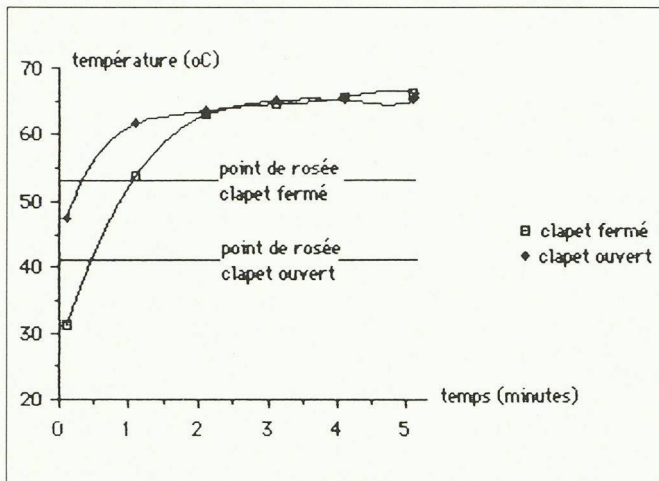


Fig. 3. - Point de rosée de la vapeur d'eau.

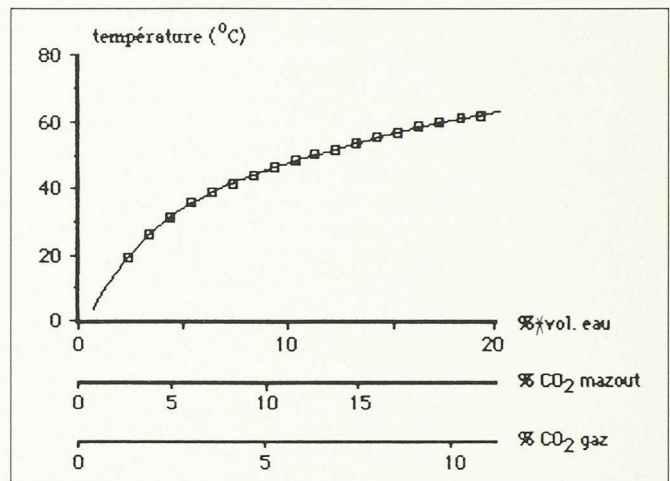


Fig. 4. - Evolution de la température à la sortie d'une cheminée (cheminée en briques, d'une section 2,5 fois trop grande, d'une hauteur de 16 m, température à la sortie de la chaudière: 153°C, démarrage du brûleur après 5 minutes d'arrêt).

très faible erreur due à l'humidité de l'air de combustion près). Comme il est usuel de mesurer la teneur en gaz carbonique des gaz de fumée et que les appareils permettant cette mesure sont communs, il sera commode de déterminer le point de rosée (eau) des gaz de fumée à partir de cette mesure.

5.2. Acide sulfurique (H₂SO₄)

L'opinion commune veut que les dégâts dus à la condensation soient imputables à l'action de l'acide sulfurique. Cette opinion est sans doute fondée sur les nombreuses études faites au sujet de la condensation de l'acide sulfurique [4] [7] [8] [9] [10], ainsi que sur le caractère agressif de ce dernier, qui n'est d'ailleurs autre que le vitriol, de sinistre réputation.

Or ces études concernaient avant tout des gaz de fumée tels ceux rencontrés dans des installations industrielles ou des centrales thermiques, c'est-à-dire des gaz issus de la combustion de mazout contenant une forte proportion de soufre et se trouvant à des températures relativement élevées. Le diagramme de phase de l'acide sulfurique montre que, même aux faibles concentrations, le point de rosée de l'acide sulfurique est très élevé, ce qui est confirmé par l'étude de R. Haase et H. W. Borgmann [4], qui indiquent pour les gaz de fumée résultant de la combustion de mazout contenant 0,2% de soufre un point de rosée compris entre 125 et 135°C.

En ce qui concerne les installations de chauffage domestique où l'on trouve toujours des températures de paroi (chaudières et cheminées) bien inférieures à ces valeurs, on peut donc reprendre l'affirmation de M. Koebel et M. Elsener selon laquelle l'acide condense toujours, mais que cette condensation ne devient véritablement dangereuse que si elle est accompagnée d'une condensation d'eau. Cette

affirmation rejoint d'ailleurs les constatations que nous avons pu faire lors de l'étude de cas ayant conduit à des dégâts.

Il est dès lors établi que, dans le cas de l'utilisation de combustible pauvre en soufre, on peut négliger le problème de la condensation d'acide, la seule chose à éviter dans des conduits de fumée traditionnels étant la condensation d'eau.

6. Facteurs influençant la condensation d'eau

Les principaux facteurs ayant une influence sur le phénomène de condensation sont la température des gaz, le type de cheminée, la dilution des gaz (par l'ouverture du clapet d'explosion principalement) et la durée de fonctionnement du brûleur.

6.1. Température

Lorsque l'on pense à la condensation, le premier facteur qui vient à l'esprit est évidemment la température des gaz de fumée. Deux températures importantes sont facilement accessibles :

- la température à la sortie de la chaudière (ou à l'entrée de la cheminée)
- la température à la sortie de la cheminée.

La température à la sortie de la chaudière doit évidemment être la plus basse possible, afin d'obtenir un bon rendement de combustion, tandis que la température à la sortie de la cheminée doit être suffisante pour garantir l'absence de condensation, c'est-à-dire qu'elle doit en tout cas être supérieure au point de rosée des gaz de fumée, lui-même déterminé par la mesure de la concentration de gaz carbonique (concentration, rappelons-le, proportionnelle à la teneur en eau [fig. 3]) à la sortie de la cheminée.

La différence entre ces deux températures est bien sûr fonction de la chemi-

née (construction, isolation, section, hauteur).

A titre d'exemple, la figure 4 donne l'évolution de la température, telle que mesurée à la sortie d'une cheminée en briques, d'une section 2,5 fois trop grande, d'une hauteur de 16 m, la température à la sortie de la chaudière à gaz étant de 153°C et le démarrage du brûleur se faisant après 5 minutes d'arrêt. Cette cheminée condensait dans certaines conditions (installation N° 5).

6.2. Type de cheminée

L'apparition de condensation est liée à la température de la surface intérieure de la cheminée, température dépendant évidemment de sa construction [1], particulièrement de sa masse thermique et de son isolation (les cheminées modernes sont généralement isolées, les cheminées anciennes, de plus de 20 ans, généralement pas), ainsi que de son bon dimensionnement par rapport à la puissance de l'installation (une cheminée de section trop grande aura une masse à réchauffer trop importante par rapport au volume de gaz de fumée émis), de sa position dans la maison (extérieure ou intérieure), de sa hauteur totale, de sa hauteur au-dessus du toit, etc.

Ces multiples facteurs font qu'il est difficile, voire hasardeux, de tirer des conclusions générales des observations que nous avons effectuées. Nous pouvons néanmoins cerner certains éléments déterminants, qui pourront paraître l'expression d'une évidence, mais qui malgré tout sont souvent méconnus.

1. La condensation apparaît, ce qui est parfaitement logique, tout d'abord dans le haut des cheminées. Dans certains cas observés, elle n'avait d'ailleurs lieu que dans la partie de la cheminée dépassant le toit, et dans l'un des cas étudiés il est quasi-

Méthodes de mesure

La température des gaz de fumée ainsi que leur teneur en gaz carbonique ont été mesurées à l'aide d'un appareil électronique TESTO 3200 (H. G. Werner AG, Zurich). La teneur en gaz carbonique mesurée correspondait toujours bien avec celle mesurée soit par le ramoneur, soit par le monteur du brûleur.

Les températures mesurées en revanche étaient parfois très différentes (jusqu'à 40°C d'écart) de ce qu'indiquaient soit les ramoneurs, soit les monteurs. Dans ces cas, nous avons toujours vérifié ces températures à l'aide d'un thermomètre électronique Technoterm. Il s'est révélé que nos mesures étaient justes, celles des ramoneurs et monteurs fausses.

A la sortie de la chaudière, les mesures ont été effectuées en plongeant la sonde jusqu'au milieu du tuyau de fumée, par l'orifice prévu à cet effet. A la sortie de la cheminée, les mesures ont été prises en plongeant la sonde d'environ 50 cm dans la cheminée et en la tenant au milieu de celle-ci.

Sauf indication contraire, toutes les mesures rapportées ont été faites 3 minutes après l'enclenchement du brûleur, cet enclenchement ayant lui-même lieu après un arrêt de 5 minutes. Dans tous les cas mesurés, un état presque stationnaire était obtenu au bout de ce laps de temps (nous n'avons pas mesuré de tour : dans un tel cas, il faudrait certainement attendre plus longtemps) : le taux de gaz carbonique restait rigoureusement constant, tandis que la température pouvait, dans certains cas, monter encore très légèrement du fait de l'augmentation de la température de la chaudière et, dans une moindre mesure, de la température des parois de la cheminée. Un histogramme de l'évolution de la température à la sortie de la cheminée, illustrant ce fait, est donné dans la figure 4.

ment certain que les dégâts constatés dans un appartement provenaient de l'eau condensée dans cette seule partie de la cheminée, eau qui s'écoulait en entraînant des goudrons.

2. Les cheminées en briques sont plus délicates, pour deux raisons :

- leur plus grande masse thermique conduit à des températures de surface plus basses, propices à la condensation ;
- dans le cas des cheminées en briques, on constate généralement la présence de condensation par des dégâts tels que décollement de crépis, taches de goudron au plafond de certaines chambres, etc., tandis qu'une forte condensation dans un boisseau peut être détectée du fait que l'on retrouve de l'eau dans la chaufferie, sans autres dégâts dans l'immeuble. Nous avons ainsi vu un cas où le concierge aspirait 15 à 20 l d'eau de condensation par jour dans une chaufferie, pendant 2 mois (dans l'attente du tubage de la cheminée), sans qu'il en résulte de dégâts dans l'immeuble !

3. La section de la cheminée joue un rôle important : dans tous les cas de condensation observés, cette section était de 2,5 à 6 fois trop grande par rapport à la section déterminée selon la norme SIA 384/4.

6.3. Ouverture du clapet d'explosion

Il est couramment admis que l'ouverture du clapet d'explosion permet de limiter le risque de condensation, voire de supprimer cette dernière. Les explications données à ce phénomène sont :

- l'abaissement du point de rosée par dilution de la vapeur d'eau

- l'assèchement des parois de la cheminée par un courant d'air pendant les périodes d'arrêt du brûleur.

Nous avons de plus constaté que l'ouverture du clapet d'explosion provoque une température des gaz plus élevée et plus constante (fig. 4) par transfert de la chaleur emmagasinée dans le bas de la cheminée vers le haut de celle-ci : il s'agit certainement là de la principale raison de l'effet bénéfique de l'ouverture du clapet d'explosion. Notons tout de même que cette « ventilation » de la cheminée n'est pas en elle-même favorable aux économies d'énergie, bien au contraire : toute chaleur sortant de la cheminée est évidemment perdue. Dans un des cas étudiés, nous avons pu estimer cette quantité de chaleur à 3,5% de la consommation, ce qui est loin d'être négligeable, mais peut être plus que compensé par l'augmentation du rendement de la chaudière dû à l'abaissement de la température des gaz et à l'augmentation parallèle de la durée de fonctionnement du brûleur. Il faudra

néanmoins veiller à n'ouvrir ce clapet que dans les cas où cela est vraiment nécessaire.

6.4. Durée de fonctionnement du brûleur

Nous avons effectué un essai en mesurant la température à la sortie de la cheminée pour deux modes de fonctionnement du brûleur :

- temps de fonctionnement court : 1 minute de marche, 1 minute d'arrêt, etc. ;
- temps de fonctionnement plus long : 5 minutes de marche, 5 minutes d'arrêt, etc.

Cet essai a montré que, dans le premier cas, la température moyenne des gaz était de 7 degrés plus basse que dans le deuxième cas, l'explication principale de ce phénomène étant la part plus importante de la préventilation dans le cas du temps de fonctionnement plus court.

La quantité de vapeur d'eau produite étant la même dans les deux cas, il est clair que le risque de condensation est bien plus important dans le premier que dans le deuxième. Il est donc recommandé de régler l'installation de manière à avoir des temps de fonctionnement du brûleur aussi longs que possible, ce qui va d'ailleurs dans le sens des économies d'énergie.

7. Résultats des mesures

Dans les tableaux suivants sont donnés les résultats les plus intéressants des mesures effectuées sur une vingtaine d'installations.

Le tableau 4 montre quelques cas de chauffages au mazout des gaz de fumée desquels les températures à la sortie de la chaudière peuvent paraître trop basses, mais dans lesquels on n'a constaté aucune condensation : dans ces installations, les températures pourraient encore être abaissées !

Les mesures à la sortie de la cheminée ont été faites 3 minutes après l'enclenchement du brûleur. Dans tous les cas étudiés, les deux paramètres mesurés

TABLEAU 4. - Chauffages au mazout sans condensation.

Type de cheminée	Briques	Boisseaux				
		10	15	16	13	3
N° installation	14	10	15	16	13	3
Surdimensionnement section	1,5	2,4	1,9	1,8	2,4	2,3
T nette sortie chaudière (°C)	140	126	120	117	130	110
CO ₂ sortie chaudière (%)	11,5	8,0	8,5	9,7	11,8	8,1
Rendement combust. (%)	92,9	90,4	91,8	93,0	93,6	92,1
T sortie cheminée (°C)	63	48	56	60	58	44,5
CO ₂ sortie cheminée (%)	6,2	3,5*	5,1	5,0	5,6	6,4

* Clapet d'explosion ouvert.

(gaz carbonique et température) ne variaient plus que faiblement après ce laps de temps. Dans des cas extrêmes, tels que des tours, ou des sections de cheminées fortement surdimensionnées, il faudrait probablement attendre plus longtemps pour atteindre un état quasi stationnaire.

Le tableau 5 montre la différence de température entre la sortie de la cheminée et le point de rosée (également à la sortie de la cheminée) pour les divers cas de figure possibles. Qu'il y ait ou non condensation, nous avons toujours choisi des cas se trouvant près de la limite. En ce qui concerne les valeurs manquantes, il s'agit soit de cas où les valeurs mesurées étaient vraiment trop éloignées de la limite de condensation (par exemple de cas où la température à la sortie de la cheminée était plus basse que le point de rosée), soit de cas que nous n'avons simplement pas eu l'occasion d'étudier. Les valeurs indiquées ont de nouveau été mesurées 3 minutes après l'enclenchement du brûleur.

8. Recommandations

Les résultats donnés ci-dessus permettent de mieux cerner les limites de température au-dessous desquelles une condensation est probable.

Un premier point, fondamental, est qu'il est absolument inutile de vouloir régler au plus juste une installation en

TABLEAU 5. - Différence mesurée entre température de sortie de la cheminée et point de rosée pour les divers cas possibles.

Installation	Condensation	Combustible	Type de cheminée	ΔT gaz (°C)
-	non	gaz	briques	-
8,19	non	gaz	boisseaux	21,17
-	non	mazout	briques	-
4	non	mazout	boisseaux	19
5	oui	gaz	briques	14*
-	oui	gaz	boisseaux	-
-	oui	mazout	briques	-
12	oui	mazout	boisseaux	5*

* Condensation seulement dans la partie de la cheminée dépassant le toit.

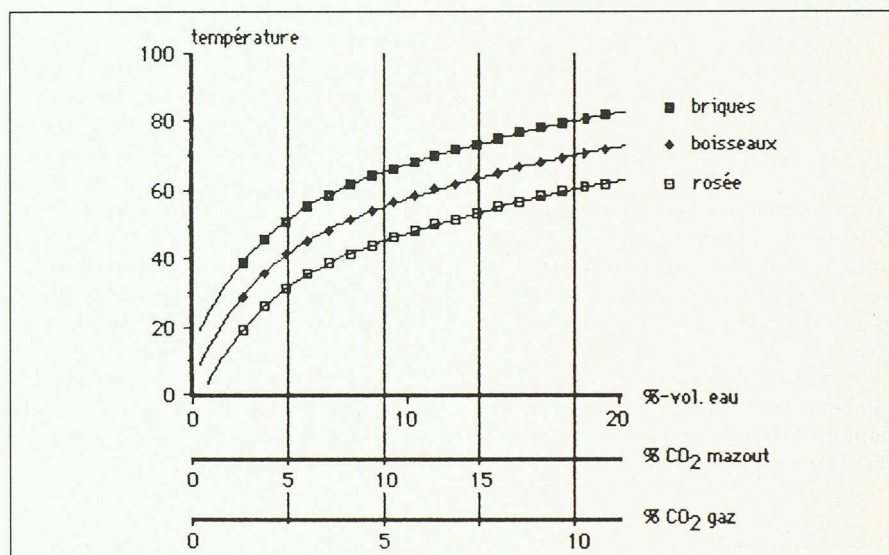


Fig. 5. - Températures des gaz de fumée à respecter à la sortie de la cheminée pour éviter la condensation.

Caractéristiques des installations mesurées.

Bâtiment N°	Puissance (kW)	Construction	Combustible	Chaudière T / CO ₂ (°C) (%)	Cheminée T / CO ₂ (°C) (%)	Condensation
1	env. 30	briques	mazout			oui
2	171	briques	gaz	138/10,8	48/8,9 44/5,2*	oui
3	148	boisseaux	mazout	130/8,1	76/7,1 45/6,4*	non
4	env. 280	boisseaux	mazout	118/5,5	51/4,9 42/2,8*	non
5	130	briques	gaz	153/11,5	62/6,5 64/4,5*	oui
6	env. 30	briques	mazout	175/11,2	35/4,2	oui
7	870	boisseaux	mazout	140/13		oui
8	70	boisseaux	gaz	97/2,8	55/2,8	non
9	18	briques	mazout	130/13,2	28/10,3	oui
10	80	boisseaux	mazout	143/8,0	48/3,5*	non
11	165	briques	mazout	155/10,8	33/6,9 27/4,6*	oui
12	17	boisseaux	mazout	161/6,9	36/4,2 41/2,8*	oui
13	70	boisseaux	mazout	150/11,8	58/5,6	non
14	110	boisseaux	mazout	166/11,5	63/6,2	non
15	120	boisseaux	mazout	135/8,5	56/5,1	non
16	190	boisseaux	mazout	132/9,7	60/5,0	non
17	450	boisseaux	mazout	160/10,0		non
18	320	boisseaux	mazout	150/10,5		non
19	120	boisseaux	gaz	177/10,5	60/4,3*	non

* Clapet d'explosion ouvert.

Bibliographie

- [1] OFFICE FÉDÉRAL DES QUESTIONS CONJONCTURELLES: *Amélioration thermique des bâtiments*, 1980.
- [2] STADELMANN, M.: *Heizung + Klima*, 10/1986, p. 18.
- [3] KOEBEL, M.: *Heizung + Klima*, 9/1986, p. 71.
- [4] HAASE, R.; BORGMANN, H. W.: *Korrosion*, 15, 47, 1961.
- [5] Schiedel: *Canaux de fumée isolants*, 1985.
- [6] *Handbook of Chemistry and Physics*, 58^e éd., 1977-1978. Norme SIA 384/4.
- [8] MÜLLER, P.: *Chemie-Ing.-Tech.* 5, 345, 1959.
- [9] VERHOFF, F. H.; BANCHERO, J. T.: *Chem. Eng. Prog.*, 70 (8), 71, 1974.
- [10] LISLE, E. S.; SENSENBAUGH, J. D.: *Combustion*, janvier 1965, p. 12.

ne mesurant que la température à la sortie de la chaudière, procédure courante à ce jour. *Il est indispensable de mesurer température des gaz et teneur en gaz carbonique à la sortie de la cheminée.*

Le risque de condensation est quasiment nul si l'on règle l'installation de manière à obtenir les valeurs suivantes (fig. 5):

- boisseaux: point de rosée +10 degrés
 - briques: point de rosée +20 degrés.
- Le respect de ces valeurs devrait permettre de faire fonctionner l'installation avec un bon rendement, sans que se pose de problème de condensation. Il est néanmoins recommandé d'inspecter la cheminée quelque temps après le nouveau réglage du brûleur, surtout dans le cas d'une cheminée en briques.

9. Conclusions

Cette étude nous a permis de préciser le comment et le pourquoi de la condensation dans les cheminées. Elle a également permis de trouver une règle simple permettant d'éviter cette condensation, tout en réglant les brûleurs au plus juste. Par rapport aux valeurs précédemment admises, cette règle devrait permettre des économies d'énergie de l'ordre de 4 à 7%, ainsi que la réduction correspondante des émissions polluantes. Mais le plus difficile reste probablement à faire: convaincre les professionnels responsables du réglage des brûleurs de monter sur le toit afin de mesurer les gaz à la sortie de la cheminée, et de régler les brûleurs au plus juste.

Rappelons encore brièvement les précautions essentielles à prendre pour éviter tout problème:

- monter sur le toit pour s'assurer que la température à la sortie de la cheminée est suffisante, selon les courbes données ci-dessus;
- surtout dans le cas des cheminées en briques, vérifier leur état après quelques semaines de fonctionnement si l'on était proche de la limite de condensation; pour les cheminées à boisseaux cette précaution, bien que recommandée, n'est pas indispensable;
- s'assurer que le temps de fonctionnement du brûleur est suffisant (si possible plus de 5 minutes);
- selon les cas, ouvrir le clapet d'explosion.

Adresses des auteurs:

Lucien Keller
Jean-Patrick Jaccoud
Bureau d'études Keller-Burnier
Clos Rollin
1171 Lavigny

Industrie et technique**Echantillons d'air et analyses chimiques**

S'agissant de quantités infimes - un nanogramme, par exemple, est un milliardième de gramme -, on comprend qu'une erreur apparemment minime, telle qu'une pollution oubliée, peut rendre des résultats d'analyses tout à fait inutilisables. Un travail qui fait déjà appel à une grande expérience et à une technique affinée lorsqu'il s'agit de corps liquides ou solides comme l'eau, les boissons, les denrées alimentaires, ou de prélèvements de matériaux et de sols, devient une tâche difficile et lourde de responsabilités dès qu'il faut procéder à des prélèvements d'échantillons d'air. C'est ce qui ressort des travaux d'un groupe de discussion sur les analyses liées à la protection de l'environnement, qui ont fait l'objet d'une récente publication. Ces recherches ont été menées sous la responsabilité du professeur Dieter Klockow du Département de chimie de l'Université de Dortmund en collaboration avec une équipe de neuf scientifiques. La pollution de l'air peut être

faite de gaz comme l'anhydride sulfureux, mais aussi de poussières, c'est-à-dire de substances solides ou de liquides sous forme de particules plus ou moins fines. C'est la raison pour laquelle, aux yeux de l'analyste, l'air n'est jamais totalement pur! C'est un système non homogène fait de diverses substances, un aérosol dont la composition et l'état thermodynamique (c'est-à-dire sa dilatation sous l'influence de changements de température et d'autres facteurs météorologiques) se modifient constamment. L'orientation et la vitesse des vents, la température et l'humidité de l'air, l'insolation et la situation météorologique générale agissent en permanence sur l'air; celui-ci n'est pratiquement jamais dans un état que l'on pourrait qualifier de «normal».

Tout cela fait que, pour que des valeurs analytiques moyennes soient utilisables - et il faut absolument qu'elles le soient -, elles doivent résulter d'un nombre suffisant de prélèvements opérés dans des condi-

tions différentes. A cet égard, la forme du terrain joue aussi un rôle - plaine, collines plus ou moins élevées et vallonnées, paysage de montagne - de même que le type de construction (immeubles élevés). Il faut tenir compte également de la proximité de routes fréquentées avec leurs émissions extrêmement variables aux différents moments de la journée, en relation de nouveau avec des paramètres tels que l'orientation et la vitesse des vents. Cette sensibilité particulière de l'air aux multiples influences qu'il subit entraîne des conséquences non seulement sur le nombre des prélèvements à effectuer, mais aussi sur la technique du prélèvement lui-même. Il y a différentes manières de mettre les échantillons dans des récipients appropriés: on peut le faire par aspiration, on peut aussi laisser agir l'air directement sur certains réactifs solides ou liquides; les poussières polluantes peuvent aussi s'analyser à partir de précipitations mouillées (pluie, neige, grêle) ou sèches (poussière).

L'étude insiste par exemple sur la fonction des collecteurs automatiques de pluie qui s'ouvrent et se ferment d'eux-mêmes ainsi que sur la nécessité de stocker au frais et à l'ombre les échantillons ainsi recueillis jusqu'à l'analyse proprement dite.

Ces exemples permettent d'illustrer les difficultés du prélèvement d'échantillons. Avec la préoccupation accrue de l'environnement qui caractérise en général notre époque, le profane qui est habitué à trouver des données analytiques dans les médias quotidiens, à la télévision et à la radio, devrait savoir à quel point le domaine de la chimie analytique est délicat et implique de lourdes responsabilités. Le législateur et les autorités ont parfois tendance aujourd'hui à exiger des spécialistes des données sûres et évidentes, au-delà de ce que ces spécialistes sont à même de fournir en toute bonne conscience.

(Source: GDCh service de presse scientifique 5/87.)

(Infochimie)