Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 66 (1940)
Heft: 14

Artikel: La combustion du bois dans les installations de chauffages centraux
Autor: [s.n.]
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-50658

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: 09.12.2025

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

des compressions qui montrent aussi clairement que possible les faits que nous tenons à signaler.

Les valeurs admises sont :

$$t_A = 30\ ^oC \quad p_A = 10\ \text{kg/cm}^2 \quad p_z = 30\ \text{kg/cm}^2.$$

En partant de ces données on trouve les valeurs suivantes par lecture du diagramme $i - \Phi$ pour la compression isothermique AZ' que nous voulons étudier en premier lieu :

$$\Delta\Phi = \quad 14{,}1\ \text{Cal/kg}$$
$$\Delta i = -5{,}55\ \text{Cal/kg}$$
$$\Delta s = -0{,}0644.$$

Il résulte de ces chiffres premièrement l'indication (sur laquelle nous nous sommes déjà expliqués) concernant le travail de compression isothermique qui est donc ici de 14,1 Cal/kg, mais encore toutes autres données utiles relatives à la chaleur échangée au cours de la transformation. Cette chaleur peut se déterminer facilement comme suit : la différence entre les valeurs de i et Φ au début et à la fin de la transformation isothermique est donnée par l'expression générale

$$\Delta i - \Delta\Phi = \Delta\,(sT)$$

qui, T étant constante, se réduit à

$$\Delta i - \Delta\Phi = T.\Delta s = Q.$$

Or, pour une vapeur surchauffée, i n'est pas, comme pour un gaz parfait, une fonction de la température seulement, mais varie par contre même lorsque T reste constant. En fait i au cours de la transformation examinée diminue de 5,55 Cal/kg, tandis que Φ augmente de 14,1 Cal/kg. Il résulte de là

$$Q = -5{,}55 - 14{,}1 = -19{,}65\ \text{Cal/kg}.$$

Telle est donc la quantité de chaleur que l'on doit soustraire au CO_2 dans les conditions notées pour que sa compression se fasse sous la température constante de 30 ^oC.

On peut retrouver sur cette base aussi la différence d'entropie entre l'état final et l'état initial. Cette différence est

$$\Delta s = -\frac{19{,}65}{303{,}1} = -0{,}0648$$

tandis que la valeur lue directement au diagramme est de $-0{,}0644$.

La circonstance qui vient d'être mise en évidence par l'exemple traité constitue en quelque sorte un pendant à la diminution de température qu'entraîne le laminage du CO_2 (effet Joule-Thomson) qui est rendu manifeste au graphique de la figure 5 par l'indication de la température à laquelle aboutit, pour une pression de 10 kg/cm², un laminage dont les conditions initiales seraient $p =$ 30 kg/cm² et $t = 30\ ^oC$ (point Z'). On remarquera que la température au cours de ce laminage au lieu de rester à 30 °C descend à 5 °C. La contre-partie, en quelque sorte de ce fait bien connu (contre-partie dont la notion est souvent perdue de vue) est justement la circonstance que nous avons cherché à mettre en évidence et qui peut être résumée en disant que la compression isothermique d'une vapeur pour laquelle l'enthalpie n'est pas une fonction de la température seulement, exige la soustraction au corps comprimé d'une certaine quantité de chaleur en plus de celle équivalente au travail de compression. Cette soustraction de chaleur supplémentaire varie selon les circonstances, soit selon la région d'un diagramme représentatif de l'état thermique d'un corps dans laquelle se trouve l'isotherme considérée.

Pour la compression isentropique AZ, par contre, la lecture du diagramme $i - \Phi$ annexé donne les indications suivantes rappelées par la figure 5 :

$$\Delta i = 16{,}3\ \text{Cal/kg} \qquad t_z = 110\ ^o\text{C}$$

ce qui caractérise complètement ce type de compression.

Il résulte immédiatement des chiffres relevés que le rapport entre le travail de compression isothermique et le travail de compression isentropique est, dans le cas examiné, de

$$\frac{16{,}3}{14{,}1} = 1{,}156.$$

Ces quelques données montrent que le diagramme $i - \Phi$ fournit dans le cas pris en considération comme dans le cas examiné auparavant, par de simples lectures et de simples mesures de longueur, tous les éléments utiles aux calculs relatifs aux deux types fondamentaux de compression examinés. Non seulement cette circonstance se trouve vérifiée dans le cas des vapeurs surchauffées, mais précisément dans ce cas (qui est particulièrement important pour la pratique et plus délicat que celui des gaz parfaits) le moyen graphique en discussion permet de connaître sans complication et difficulté aucune, toutes les particularités des phénomènes examinés dont la détermination exige, lorsque l'on a recours à d'autres représentations graphiques, l'intervention de calculs qui sont ici superflus. *(A suivre.)*

La combustion du bois dans les installations de chauffages centraux.

M. le professeur P. Schläpfer *et M.* O. Stadler *ont publié sous ce titre dans la revue « Heizung und Lüftung »* [1] *les résultats d'études entreprises par le* Laboratoire fédéral d'essai des matériaux (*section technique de la chaleur et de la combustion*) *avec la collaboration de l'*Association suisse d'Economie forestière. *Nous pensons rendre service à nos lecteurs, architectes et ingénieurs, en reproduisant ici l'essentiel de cette communication qui constitue une remarquable contribution à la solution d'un problème dont l'actualité est évidente.* (*Réd.*)

I. La théorie de la combustion du bois.

1. *Les propriétés du bois.*

Le bois est le combustible solide le plus riche en gaz, puisque sa substance pure contient plus de 85 % de matières volatiles qui, par chauffage en l'absence d'air, se dégagent déjà à des

[1] Cette revue, organe de l'*Association suisse des constructeurs de chauffages centraux*, a bien voulu mettre à notre disposition les clichés de cet article. (Réd.)

températures relativement basses et sont très riches en vapeur d'eau. Cette haute teneur en constituants volatils influe fortement sur le comportement du bois au feu. C'est à elle qu'est dû le fait que la combustion s'en effectue en deux étapes. On sait, en effet, qu'il subit d'abord une distillation avec formation progressive de charbon : dans des intervalles de temps relativement courts, de grandes quantités de constituants volatils sont libérées, qui, pour brûler, exigent l'arrivée d'air en quantité suffisante, au moment et à l'endroit voulus. La deuxième étape consiste dans la combustion du charbon de bois, qui peut alors s'effectuer avec notablement moins d'air. Inversement, la forte teneur en matières volatiles conditionne la facile inflammabilité et la grande vitesse de combustion du bois si l'amenée d'air est suffisante. Ces propriétés ont d'ailleurs été mises à profit depuis longtemps.

Pour le calcul des phénomènes de la combustion, la connaissance de la composition élémentaire du bois est nécessaire. Dans le *tableau I*, on a consigné les valeurs trouvées dans l'analyse de la substance combustible de différents produits ligneux. On voit que pour des calculs approximatifs, on peut admettre les valeurs moyennes suivantes : 50 % de carbone, 6 % d'hydrogène et 44 % d'oxygène+azote. La forte teneur en oxygène est importante à noter, puisque c'est d'elle que dépend la quantité d'air théoriquement nécessaire pour brûler 1 kg de bois : or, cette quantité est faible comparativement à celle qu'il faut pour consumer d'autres combustibles. Notons aussi que le bois est généralement exempt de soufre et que sa combustion s'effectue donc sans dégagement d'acide sulfureux.

Parmi les impuretés, la teneur très variable du bois en humidité joue un rôle important ; la teneur en cendres varie peu et dépasse rarement 1 %. Le bois vert contient jusqu'à 50 % d'eau par rapport à la substance brute. Dans cet état, il n'est utilisable comme combustible que dans des cas tout à fait spéciaux ; il devrait par entreposage de 1-2 ans ou séchage artificiel, être porté à une teneur en eau d'environ 15 %. Cela correspond à la teneur en eau du bois dit « séché à l'air ». Il faut à ce sujet attirer l'attention sur le fait que du bois, même encore assez humide, apparaît au toucher relativement sec, se différenciant ainsi des autres combustibles pour lesquels une augmentation de la teneur en eau de quelques pour-cent au-dessus de la valeur admissible se laisse facilement déceler.

Comme le pouvoir calorifique de la substance pure des différentes espèces de bois varie relativement peu, on peut dire que le bois, à l'état d'utilisation, possède un pouvoir calorifique qui dépend en première ligne de sa teneur en humidité, comme le représente la figure 1. De cette dernière appert, en même temps, qu'il n'est pas indifférent de rapporter la teneur en eau à la substance sèche ou à la substance humide. Pour l'appréciation de la valeur du bois de feu, il est recommandable comme pour les autres combustibles, de rapporter la teneur en eau au matériel humide. La figure 1 indique aussi

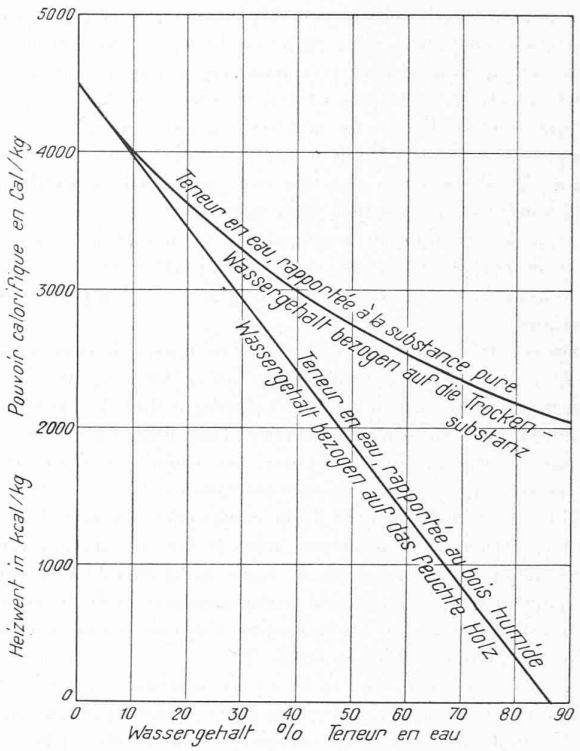

Fig. 1. — Variation du pouvoir calorifique du bois en fonction de la teneur en eau.

Suppositions : Teneur en cendres 1 %.
Pouvoir calorifique de la substance pure 4500 Cal/kg.

que pour un bois séché à l'air à 15 % d'humidité, on peut admettre un pouvoir calorifique d'environ 3700 Cal/kg.

Enfin, la densité apparente du bois joue, pour les installations de combustion, un rôle important pour les dimensions des entrepôts et des bûchers. Elle dépend du degré d'humidité et de l'espèce du bois. Le *tableau II* contient des données sur les densités apparentes de quelques espèces et assortiments de bois.

A titre de comparaison, signalons encore que 1m³ de coke d'un pouvoir calorifique de 7000 Cal/kg et d'une densité apparente de 460 kg/m³, contient 3 220 000 Cal. Pour stocker un nombre déterminé de calories contenues dans un combustible, on a donc besoin, pour le bois, de presque deux fois plus de place que pour le coke ; ce point doit être pris en considération dans l'élaboration des projets d'installations de chauffage au bois.

2. *La combustion du bois.*

Dans l'exposé ci-dessous, nous comparerons les conditions qu'on rencontre dans la combustion du bois et dans la com-

Tableau 1 — Composition élémentaire et pouvoir calorifique de la substance combustible de différents produits ligneux.

Espèces de bois	Teneur en : Carbone C %	Hydrogène H %	Oxygène + Azote O + N %	Matières volatiles %	Pouvoir calorifique Cal/kg.
Petits blocs de hêtre	49,1	6,2	44,7	87,5	4 339
Hêtre (bois d'assertage)	48,4	6,2	45,4	89,1	4 380
Vieux bois de chêne	49,5	6,0	44,5	82,4	4 356
Sapin (bois vert)	49,6	6,2	44,2	87,0	4 496
Sapin (longtemps entreposé)	51,1	6,3	42,6	83,3	4 621
Mélèze (déchets)	52,1	6,4	41,5	89,1	4 774
Cerisier	49,7	6,0	44,3	82,2	4 426

bustion du coke. Cela ne doit cependant pas signifier que le chauffage au bois a pour tâche de lutter contre l'emploi du coke. On n'a choisi cette comparaison que parce que le coke est le combustible le plus utilisé dans les chauffages centraux et que ces conditions de combustion peuvent dès lors être supposées connues. D'autre part, le bois et le coke constituant les deux pôles opposés des combustibles solides, les différences se manifestent plus nettement.

La figure 2 indique la quantité d'air nécessaire à la combustion complète de ces deux combustibles en fonction de la teneur en acide carbonique des gaz s'échappant par la cheminée.

On constate que pour brûler 1 kg de bois, il faut théoriquement la moitié moins d'air que pour brûler 1 kg de coke. Si l'on tient compte que le pouvoir calorifique du coke est environ le double de celui d'un bois séché à l'air, on trouve aussi que, à puissances calorifiques égales, les quantités d'air nécessaires sont approximativement les mêmes.

Un caractère important de la combustion du bois, qu'il ne faut pas perdre de vue, réside dans le fait que les gaz d'évacuation possèdent un point de rosée notablement plus élevé. On peut attribuer ce fait à la teneur plus élevée de ce combustible en hydrogène et en humidité. Ces conditions sont bien mises en évidence dans la figure 3.

Alors que pour le coke séché à l'air, nous pouvons admettre des points de rosée peu supérieurs à 0° C et ne dépassant qu'exceptionnellement 10° C, on enregistre, dans le cas du bois, des points de rosée atteignant 60° C, c'est-à-dire une température parfois supérieure à celle de l'eau dans la chaudière. On s'explique ainsi qu'on n'observe, dans la combustion du coke, pour ainsi dire jamais de condensations, tandis que celles-ci se manifestaient autrefois presque quotidiennement dans le chauffage au bois. Ce n'est qu'en conformant soigneusement les installations de chaudières aux propriétés combustibles du bois que ces désagréments ont pu être aujourd'hui en grande partie éliminés. Il n'est, par exemple, pas rationnel dans la combustion du bois de vouloir abaisser les températures des gaz à la sortie de la chaudière au-dessous de 125° C en vue d'améliorer quelque peu le rendement calorifique, car seules des condensations et des mouillages de cheminées en seraient les conséquences. Par contre, les appareils de mélange d'eau au retour ont fait leurs preuves, parce qu'ils permettent de travailler, d'une manière continue, avec de hautes températures de l'eau au départ de la chaudière, ce qui limite au minimum les transpirations.

D'une manière générale, il faut attacher un grand intérêt à l'obtention d'un service impeccable et sans perturbations. On doit, en première ligne, tenir compte des facteurs qui déterminent cette exigence. Ce n'est qu'ensuite qu'entrera en considération la question du rendement calorifique ; signalons cependant que celui-ci atteint 65-75 % pour les systèmes modernes de chaudières de chauffages centraux au bois.

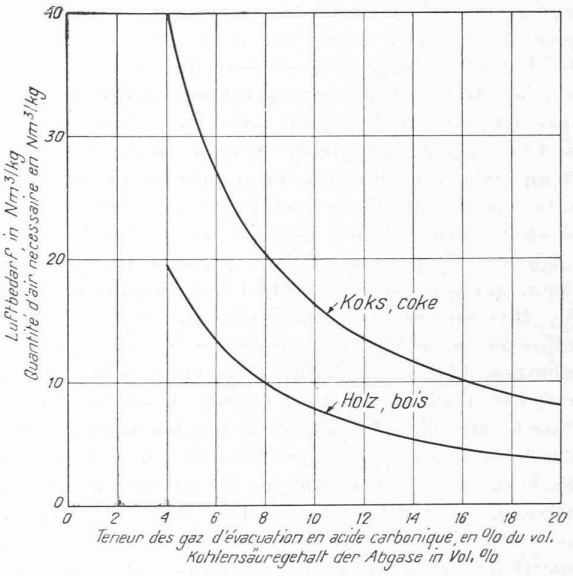

Fig. 2. — Variation de la quantité d'air nécessaire en Nm³/kg en fonction de la teneur des gaz d'évacuation en acide carbonique.
Condition : Combustion complète, sans dégagement de produits de distillation

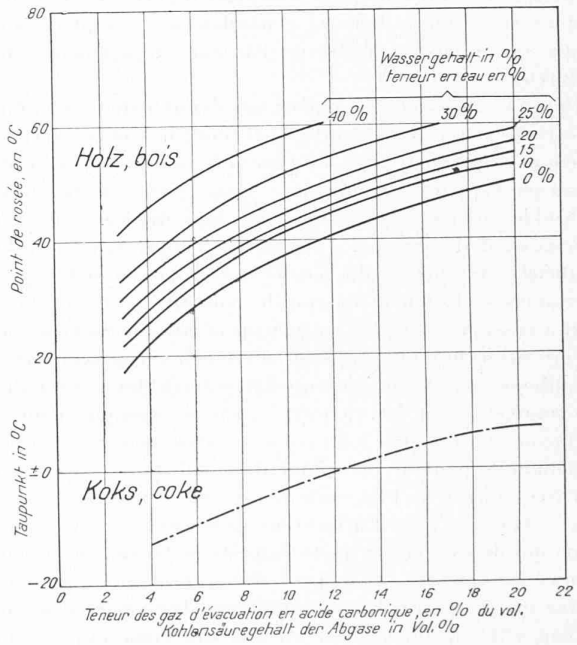

Fig. 3. — Variation du point de rosée des gaz d'évacuation du bois et du coke, en fonction de la teneur en acide carbonique et pour des teneurs du bois en eau de 0, 10, 15, 20, 25, 30 et 40 %.

Tableau 2 — Densités apparentes et capacités calorifiques de différents assortiments et espèces de bois.

On a admis : Bois séché à l'air à 15 % d'eau { Pouvoir calorifique du sapin 3 800 Cal/kg. / Pouvoir calorifique du hêtre 3 600 Cal/kg.

Assortiments de bois	Sapin		Hêtre	
	Densité apparente kg/m³	Capacité calorifique Cal/m³	Densité apparente kg/m³	Capacité calorifique Cal/m³
Bois en bûches :				
1 m de long	480—550	1 730 000—1 980 000	330—400	1 250 000—1 520 000
0,5 m de long	480—550	1 730 000—1 980 000	330—400	1 250 000—1 520 000
Bois en rondins	370—420	1 330 000—1 510 000	300—350	1 140 000—1 330 000
Bois en sacs.	250—300	900 000—1 080 000	200—240	760 000— 950 000
Branches	300—350	1 080 000—1 260 000	230—280	875 000—1 065 000

II. Les installations de combustion.

A. Généralités.

Les installations au bois doivent être adaptées aux propriétés signalées ci-dessus. Il n'est pas économique et l'on ne doit pas recommander non plus de brûler du bois dans les chaudières de chauffages centraux ordinaires destinées à la combustion de coke ou de charbon ; des chaudières spéciales sont nécessaires. Le constructeur doit prévoir que le bois commence à distiller déjà vers 175° C, mais que cette distillation n'est terminée que vers 800° C. La composition des produits de distillation dépend fortement de la température. C'est ainsi que pour des températures de 450° C, 1 kg de bois fournit plus de 300 gr d'eau et une quantité non négligeable de goudron. D'autre part, les matières volatiles contiennent à cette température beaucoup d'acide carbonique et peu d'hydrogène et sont, par conséquent, difficilement inflammables. Il est donc nécessaire, pour obtenir une combustion complète, d'avoir un foyer suffisamment spacieux, une conduite convenable des gaz combustibles et l'adduction d'air secondaire à l'endroit voulu. Pour satisfaire à ces exigences, il existe plusieurs possibilités. La plus ancienne repose sur le principe du fourneau en catelles : la combustion s'y effectue rapidement avec suffisamment d'air, la chaleur s'accumule dans la masse du poêle d'où elle est transmise peu à peu au local à chauffer ; les condensations sont relativement faibles, car les flammes n'entrent pas en contact avec des surfaces à circulation d'eau, comme c'est le cas dans les chauffages centraux, et ne sont, par conséquent, pas refroidies subitement ; la température nécessaire à une combustion complète est donc obtenue. Les bons poêles en catelles à accumulation de chaleur possèdent aussi un foyer suffisamment vaste. Ce système offre l'inconvénient d'un service discontinu, avec accumulation de la chaleur dans le poêle, il garantit cependant une émission régulière de chaleur. Il est relativement paresseux, car l'action du chauffage ne se fait pleinement sentir que lorsque toute la masse a été elle-même chauffée. Il a cependant fait ses preuves pour des poêles fonctionnant isolément dans des locaux chauffés continuellement, mais il n'entre guère en considération pour des chauffages centraux.

Pour pouvoir utiliser rationnellement le bois dans les chauffages centraux, on a dû recourir au principe de la combustion régulière du bois, au cours de laquelle ce combustible traverse successivement une zone de séchage, puis une zone de distillation et enfin une zone de combustion. En adoptant ce principe, on a donc passé de l'accumulation de chaleur dans le fourneau lui-même, à l'accumulation de combustible dans une trémie ou dans un réservoir adjoint au fourneau. On doit alors veiller à un glissement régulier du bois dans la zone de combustion. C'est de cette manière qu'on a pu, comme on le verra plus loin en détail, obtenir une puissance régulière durant toute la période de combustion, comme cela se produit également avec le coke. *(A suivre.)*

Exposition d'architecture française contemporaine.

A Genève, à la Maison des congrès — qui fut jadis le bâtiment de la Conférence du désarmement — sont réunies en ce moment quelques 200 photographies d'œuvres d'architectes français de notre temps. Ces photos constitueront le noyau de la collection d'architecture du Musée des Arts modernes, au quai de Tokio. Rassemblées par M. *Louis Hautecœur*, conservateur du Musée des Arts modernes, elles ont été mises en place par M. *J. Torcapel*, architecte à Genève.

Jamais encore, à notre connaissance, une semblable collection n'avait été exposée. Il y faut, en temps ordinaire déjà, un beau courage. L'architecture est, par essence, spatiale. En elle-même et par rayonnement. Le contour apparent qui limite sa matière n'est que le centre d'un ensemble dont le ciel, l'arbre et l'eau sont les compléments nécessaires. Evoquer l'architecture n'est donc point chose aisée : La représentation graphique — plan, façade et coupe — seule admise par l'homme de métier mais inintelligible au profane a, dans sa rigidité, l'aspect morne d'un document et sa contribution, indispensable à l'analyste, n'est d'aucun secours dans la recherche de l'émotion. La maquette, ou même la copie, aux couleurs et dimensions de l'original — arrachée au ciel et au décor — n'est émouvante que dans la mesure où elle éveille une émotion déjà ressentie. La reproduction photographique par contre, tout en ne présentant qu'un aspect fragmentaire, porte en elle un incontestable cachet d'authenticité. Cette transposition de l'œuvre du domaine technique dans celui de l'image pure met immédiatement le spectateur en présence de la valeur plastique et spatiale de l'architecture. Il pourra être laissé dans l'ignorance du drame intime qui présida à la naissance de l'œuvre, il n'en verra que l'éclosion, mais la pureté de ce contact n'en sera que plus grande.

Les photographies choisies ainsi par M. Hautecœur l'ont été avec le plus grand soin. Guidé par le souci de donner l'exacte image de l'architecture française de ces vingt dernières années, il a tenu compte de toutes les tendances, de l'académisme impénitent au plus dogmatique constructivisme.

De là l'aspect poignant de cette exposition : groupés pour exprimer la synthèse d'une activité, ces documents prennent, en ce mois de juin 1940, dans ce palais voué au désarmement universel, un saisissant aspect de symbole.

Nous retrouvons là, groupées simplement par ordre alphabétique des noms d'auteurs, les œuvres que nous avons aimées ou méconnues, qui nous ont étonné ou que nous avons détestées. Mais déjà nous ne les voyons plus qu'à travers une glace qui s'embue, nous ne voyons plus l'œuvre mais le témoin d'un passé...

Voici des bâtiments industriels, des banques, des garages, parmi lesquels le célèbre garage Marbeuf de *Laprade* et *Bazin* dont la façade n'est qu'une glace immense ; des églises, et nous cherchons en vain la merveille de Notre-Dame du Raincy d'*Auguste Perret*. Mais nous découvrons l'Eglise du Saint-Esprit de *Tournon*.

Voici le stade de Lyon de *Tony Garnier*, un des pionniers de l'architecture contemporaine et l'Annexe de la Bibliothèque nationale à Versailles de *Roux-Spitz*, Lyonnais comme *Garnier* et premier grand prix de Rome comme lui...

Voici les centres scolaires d'Alfort (*Hummel* et *Dubreuil*) ; d'Asnières (*Chevalier* et *Launay*) ; de la rue Keller, à Paris (*Boileau*) ; de Villejuif (*Lurçat*) ; l'école Saint-Marcel de *Cuminal* et *Lardat*, une des meilleures choses de toute l'exposition.

C'est encore les H. B. M. de Drancy, de *Beaudoin* et *Lodz*, une œuvre de tout premier plan ; le bâtiment de la direction des Services téléphoniques à Paris, de *Debat-Ponsan* et, côte à côte, le musée des Travaux Publics et le Mobilier national d'*Auguste Perret*, le maître incontesté de la jeune architecture française, à qui nous devons les plus pures réussites.

C'est les Abattoirs de Bordeaux (*Debat-Ponsan*) ; les sanatoriums d'*Abraham et le Même* ; le magasin Decré à Nantes du regretté *Sauvage* ; c'est le nouveau Musée d'art moderne à