

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 33 (1907)  
**Heft:** 3

**Artikel:** Les propriétés chimiques et physiques des agglomérants hydrauliques  
**Autor:** [s.n.]  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-26218>

### **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:** 30.06.2025

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

# Bulletin technique de la Suisse romande

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES. — Paraissant deux fois par mois.

Rédacteur en chef: P. MANUEL, ingénieur, professeur à l'Ecole d'Ingénieurs de l'Université de Lausanne.

Secrétaire de la Rédaction: Dr H. DEMIERRE, ingénieur.

SOMMAIRE: *Les propriétés chimiques et physiques des agglomérants hydrauliques*, par M. Hanny, ingénieur. — *Les tramways lausannois* (suite), par M. Aug. Wohnlich, ingénieur. — **Divers**: *Concours*: Grande Salle et aménagement de la Riponne, à Lausanne. — *Sociétés*: Société fribourgeoise des Ingénieurs et Architectes: Séance du 28 décembre 1906; assemblée générale statutaire du 13 janvier 1907. — Circulaire du Comité central aux Sections de la Société suisse des Ingénieurs et Architectes. — *Nécrologie*: Ch. Guiguer de Prangins. — *Bibliographie*: Ouvrages reçus.

## Les propriétés chimiques et physiques des agglomérants hydrauliques.

Compte-rendu de la communication faite le 10 novembre 1906 à la Société vaudoise des Ingénieurs et Architectes, par M. Hanny, ingénieur-directeur technique des Usines de chaux et ciments de Baulmes.

Le but de cet exposé n'était pas d'entrer dans les détails de la fabrication et de l'emploi des agglomérants hydrauliques, mais, partant de la composition chimique, d'étudier la prise et le durcissement au point de vue pratique.

Les éléments constitutifs des chaux et ciments hydrauliques sont les suivants:

|                     |                                            |
|---------------------|--------------------------------------------|
| $Ca\ O$ ,           | Oxyde de calcium (chaux).                  |
| $Si\ O_2$ ,         | Anhydride silicique (silice).              |
| $Al_2\ O_3$ ,       | Oxyde d'aluminium (alumine).               |
| $Fe_2\ O_3$ ,       | Oxyde ferrique.                            |
| $Mg\ O$ ,           | Oxyde de magnésium (magnésie).             |
| $S$ ,               | Soufre sous forme de sulfures et sulfates. |
| $Na_2\ O, K_2\ O$ , | Oxydes de sodium et de potassium.          |

Les quatre premiers seuls sont importants, les derniers sont accessoires.

Ces substances sont très répandues dans la nature puisqu'on a pu calculer que l'écorce terrestre (lithosphère) renferme environ

|                          |                                      |
|--------------------------|--------------------------------------|
| 54% de chaux, $Ca\ O$    | 14 % d'alumine, $Al_2\ O_3$          |
| 54% de silice, $Si\ O_2$ | 7,3% d'oxyde ferrique, $Fe_2\ O_3$ . |

L'industrie les prend dans les couches sédimentaires, où elles abondent sous la forme de calcaire et d'argile, mais les propriétés hydrauliques des cendres volcaniques prouvent qu'il ne serait pas impossible d'utiliser même les roches primitives.

Dès les débuts de la fabrication des chaux et ciments hydrauliques, la question du rôle joué par les composants s'est posée, mais n'a pas encore été résolue d'une façon définitive vu la difficulté d'isoler les combinaisons formées durant la cuisson et le durcissement. Si nous prenons comme base le ciment Portland artificiel, dont la composition typique est mieux définie que celle des chaux, les re-

cherches permettent d'admettre dans le ciment cuit les combinaisons suivantes comme essentielles:

|                                   |                                                                                                             |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $Si\ O_2\ (Ca\ O)_2$ ,            | Silicate dicalcique.                                                                                        |
| $Si\ O_2\ (Ca\ O)_2 + x\ Ca\ O$ , | Solution de chaux dans le silicate dicalcique, correspondant au silicate tricalcique de M. H. Le Chatelier. |
| $Al_2\ O_3\ (Ca\ O)_3$ ,          | Aluminate de chaux.                                                                                         |
| $Fe_2\ O_3\ (Ca\ O)_3$ ,          | Ferrite de chaux.                                                                                           |

Nous faisons abstraction des substances accessoires qu'on peut considérer comme des impuretés, de même que des silicates et aluminates simples ou doubles qui ne se présentent qu'en faible quantité et dont le rôle ne paraît pas important.

Le silicate dicalcique est polymorphe; à chaud, il cristallise dans le système orthorhombique avec un poids spécifique de 3,28, en se refroidissant il se transforme, quoique déjà solide, en une variété monocline du poids spécifique de 2,97. Cette métamorphose entraîne la pulvérisation spontanée des morceaux de ciment cuit à la sortie du four, particularité bien connue dans la pratique industrielle. La poudre de silicate dicalcique gâchée à l'eau ne fait prise que très lentement, il faut donc éviter sa formation dans la fabrication du ciment artificiel. Dans ce but, il faut augmenter la teneur de la matière brute en chaux dont l'excédent se dissout dans le silicate dicalcique et lui donne la propriété de faire prise rapidement avec l'eau. Nous sommes en présence du composant fondamental du ciment Portland artificiel. Ce n'est probablement pas une combinaison chimique au sens propre, mais un corps comparable à un alliage métallique, dont les qualités participent des diverses parties réunies.

Les aluminates et ferrites de chaux s'hydratent aussi rapidement et ils sont une condition de prise prompte, mais ils ne sont pas si stables et n'atteignent pas des résistances aussi élevées que les silicates de chaux. D'autre part ils sont facilement fusibles, ils dissolvent la chaux et la silice et permettent la formation des silicates à une température inférieure à celle de leur point de fusion.

La composition globale qui produit le meilleur ciment en réalisant les combinaisons énumérées ci-dessus correspond aux limites du rapport

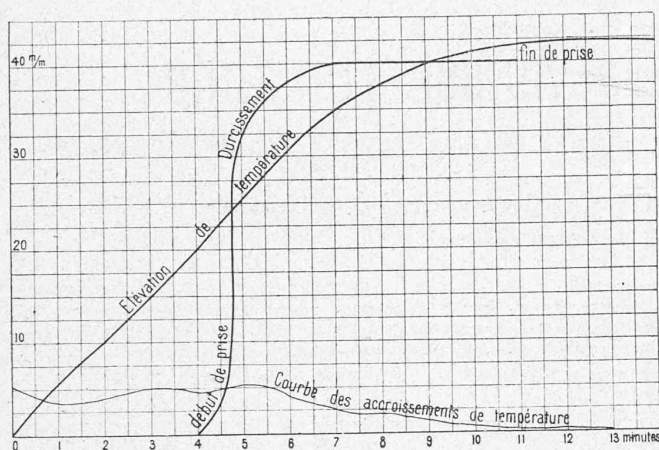


Fig. 1. — Relation entre la prise et la chaleur dégagée dans le mortier de ciment prompt. — Essais du laboratoire fédéral de Zurich.

$$\frac{\text{Ca O}}{\text{Si O}_2 + \text{Al}_2 \text{O}_3 + \text{Fe}_2 \text{O}_3} > 1,9 < 2,2,$$

qui est déduit des ciments artificiels en général. Pour une matière première donnée et selon les conditions de fabrication, la composition produisant le meilleur ciment ne peut varier que dans d'étroites limites, ce qui oblige, pour le ciment Portland du moins, à préparer le mélange artificiellement plutôt que de cuire directement les roches brutes composées de calcaire et d'argile. Les mélanges naturels, dits marno-calcaires, renfermant de 70 à 85 % de carbonate de calcium et 15 à 30 % d'argile, sont utilisés pour la fabrication des ciments naturels, des ciments prompts et des chaux hydrauliques. Pour ces produits la cuisson n'a pas lieu à une température aussi haute que celle du ciment artificiel, une partie de la chaux n'est pas combinée avec l'argile ce qui exige l'extinction soignée de la matière cuite.

Les couches jurassiques de l'Oxfordien supérieur (Argoviens moyen et supérieur) et du Bathonien, qui affleurent dans la concession de la Société des Chaux et Ciments de Baulmes, fournissent des matières premières éminemment propres à la fabrication de tous les agglomérants hydrauliques. Ce sont des calcaires marneux dont la composition chimique se rapproche beaucoup du dosage idéal du ciment portland artificiel. Le mélange naturel du calcaire et de l'argile est d'une homogénéité telle qu'aucun

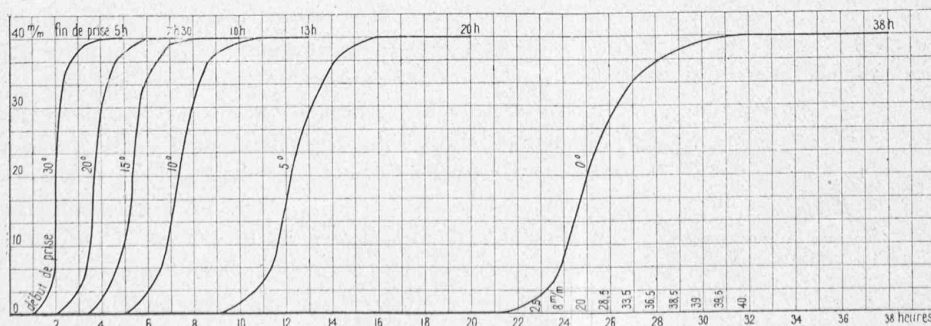


Fig. 2. — Influence de la température sur la prise du ciment artificiel. Essais du laboratoire fédéral de Zurich.

procédé industriel ne pourrait la surpasser. Cette propriété permet d'atteindre une qualité supérieure et régulière pour les chaux lourdes et le ciment artificiel. L'absence presque complète de soufre (sulfates et sulfures) et de magnésie assure à ces produits une constance de volume excellente.

Au contact de l'eau les agglomérants hydrauliques s'hydratent, il se forme d'abord une solution sursaturée dans laquelle les combinaisons hydratées cristallisent en englobant les particules grossières lentes à réagir et l'excédent éventuel d'eau de gâchage, à ce moment la masse passe de l'état pâteux à l'état solide et le phénomène s'appelle la prise. L'hydratation et la cristallisation peuvent se poursuivre aussi longtemps qu'il y aura des combinaisons anhydres susceptibles de se combiner à l'eau; cette deuxième phase est nommée le durcissement, mais en réalité c'est la même cause qui produit la prise et le durcissement, la distinction ne se justifie qu'au point de vue pratique, dans lequel il importe de mettre le mortier en place avant la prise. Il est important de constater que la qualité la plus précieuse des agglomérants hydrauliques, leur durcissement, ne se manifeste et ne peut acquérir son complet développement que sous l'action de l'eau. De ce fait découle l'utilité d'entretenir les mortiers humides durant les premières semaines de leur durcissement. Pour des travaux aériens, exécutés en été sous l'ardeur du soleil, cette utilité devient une nécessité, une condition « sine qua non » de

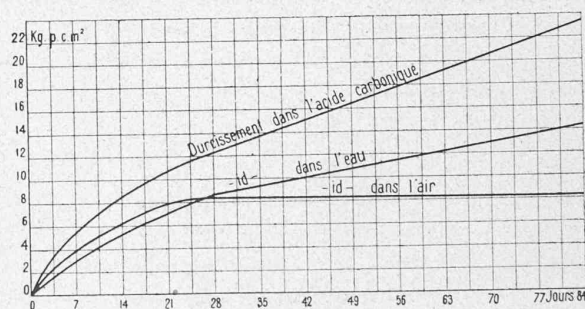
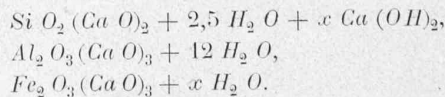


Fig. 3. — Influence du milieu sur le durcissement de la chaux hydraulique. Dosage normal. — Essais du laboratoire fédéral de Zurich.

la solidité de la construction. On attribue aux combinaisons hydratées essentielles les formules suivantes :



Comme on le voit, l'hydratation met en liberté la quantité de Ca O qui était dissoute dans le silicate dicalcique. Cette chaux libre peut se neutraliser par l'acide carbonique de l'atmosphère et augmenter la résistance du mortier.

La prise et le durcissement dépendent de nombreux facteurs d'ordre chimique ou physique dans le détail desquels il serait trop long d'en-

trer ici. L'hydratation est accompagnée d'un dégagement de chaleur; la figure 1 montre que la température maximum correspond avec la prise. La marche de cette dernière a été déterminée au moyen de la pénétration de l'aiguille de Vicat dans un corps de ciment pur, ayant 40 mm. de hauteur. Quand l'aiguille ne traverse plus complètement le corps la prise est dite commencée, elle est terminée quand l'aiguille ne pénètre plus et ne laisse qu'une faible trace à la surface. La température a une grande influence sur la rapidité de la prise (voir figure 2). Les figures 3 et 4 prouvent comment un agglomérant peut se comporter différemment suivant le milieu dans lequel il durcit.

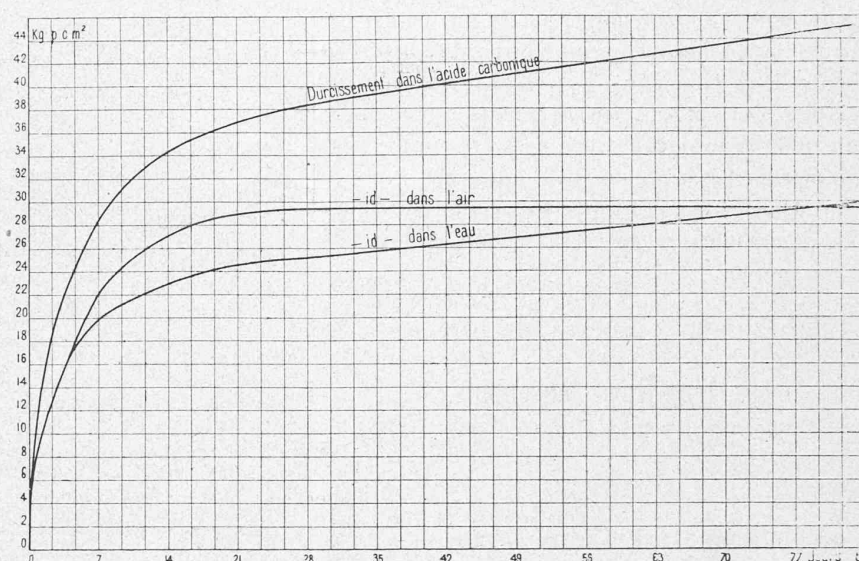


Fig. 4. — Influence du milieu sur le durcissement du ciment artificiel. Essais du laboratoire fédéral de Zurich.

ments comme *agglomérants* exclusivement. C'est entre les grains de sable, au contact des matériaux de construction, que la force d'adhésion peut développer entièrement son énergie, d'origine toute physique, car les réactions chimiques n'y jouent qu'un rôle négligeable. L'adjonction de sable a en outre l'avantage de supprimer les fentes de retrait, produites par la contraction et les différences de température.

Le durcissement des chaux et ciments peut être considéré comme le retour à un état d'équilibre chimique naturel, par hydratation et carbonatation, des éléments que la cuisson avait sortis de cet équilibre, en expulsant l'acide carbonique et l'eau. Ce retour est caractéristique des mortiers, il fait leur valeur en ce que les agents atmosphériques ordinaires contribuent en permanence à accroître la résistance et à assurer une conservation excellente aux maçonneries bien conditionnées.

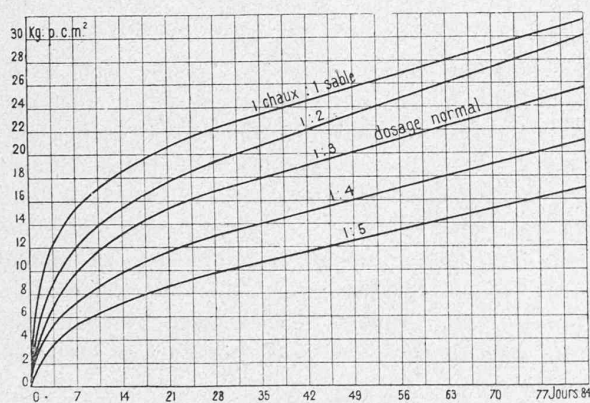


Fig. 5. — Essais de résistance à différents dosages de la chaux hydraulique de Baulmes.

La chaux vive, la magnésie (plus de 30/0), le gypse contenu déjà dans la matière crue, peuvent nuire à la solidité des maçonneries. Ces substances dites expansives, peuvent ne s'hydrater que très lentement suivant la température à laquelle elles ont été chauffées et leur gonflement considérable détruit la cohésion du mortier.

Dans le domaine si vaste et si varié de l'emploi des chaux et ciments, on ne devrait jamais faire usage de mortiers sans sable, dont les résistances chimiques et mécaniques sont inférieures aux mortiers composés de 1 partie d'agglomérant pour 1 partie de sable ou 1 : 2 de sable (fig. 5 et 6). Rationnellement il faut tirer parti des chaux et ci-

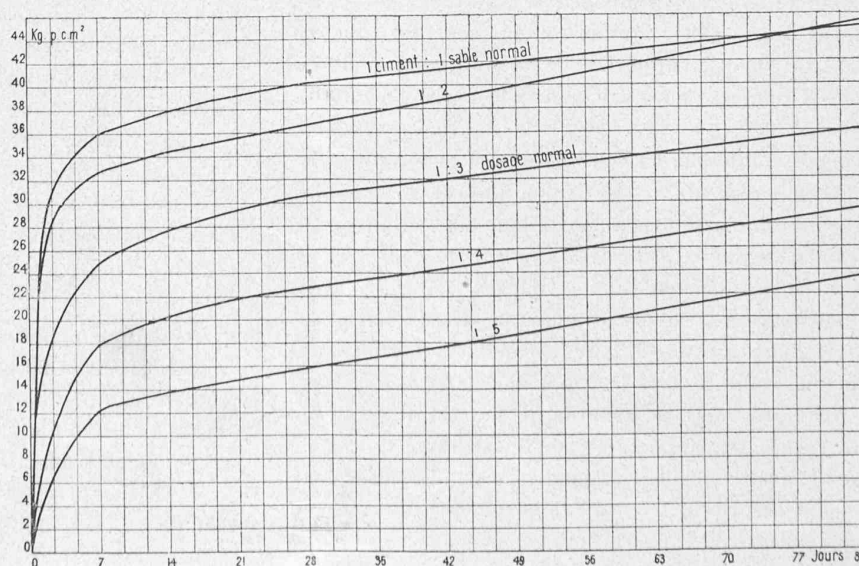


Fig. 6. — Essais de résistance à différents dosages du ciment artificiel de Baulmes.

En s'oxydant et s'hydratant à l'air, le fer des constructions a aussi la tendance à revenir à l'équilibre naturel que la chaleur et le carbone ont rompu dans le haut-fourneau. Mais ici, ce retour est la perte des précieuses qualités du fer. Cette différence fondamentale entre les propriétés du fer et du mortier fait la valeur du béton armé. Le ciment durcissant d'âge en âge protège le fer, lequel par compensation lui donne une résistance à la traction, dont le défaut limitait son emploi.

## Les tramways lausannois.

Par M. AUG. WOHLNICH, ingénieur.

(Suite)<sup>1</sup>

### IV. INSTALLATIONS DE LA II<sup>me</sup> PÉRIODE (1905). DÉPÔT DE PRÉLAZ.

Les premières recherches d'emplacement pour un nouveau dépôt ont commencé en 1899 et une promesse de vente pour achat d'un terrain de 16 368 m<sup>2</sup> fut passée en décembre 1899. Le choix s'est porté sur un terrain situé en bordure de la route de Lausanne à Genève, bien compact et d'un seul tenant, facilement accessible depuis cette route par un branchement sur la ligne Lausanne-Renens.

Nous donnons le plan de ce nouveau dépôt (fig. 20).

Le terrain en pente du Sud-Ouest au Nord-Est a entraîné des travaux de terrassement assez importants pour l'établissement de la plate forme du dépôt, avec compensation des mouvements de terres sans transports extérieurs, savoir : un déblai au Nord-Est de 5 m. de hauteur environ et un remblai au Sud-Ouest de 6 m. de hauteur. Les travaux, confiés à MM. Bellorini et Rochat, entrepreneurs à Lausanne, ont commencé le 1<sup>er</sup> mai 1902.

Le terrain étant très aquifère, il a fallu procéder à d'importants travaux de drainage et d'assainissement, principalement derrière le mur de soutènement fermant la propriété au Nord et supportant le chemin communal de Lausanne à Renens ; en outre, il a fallu perreyer le talus au Nord-Est.

Le dépôt comprend 16 voies parallèles pénétrant dans les différents bâtiments de service, toutes desservies par une voie unique parallèle à la route dans le sens de la plus grande longueur du terrain.

Les voies des remises sont groupées 3 par 3, avec départ successif en éventail ; 9 voies pénètrent dans les remises, 1 dans la cour, 2 dans les ateliers, 2 à l'Est de ce bâtiment, enfin 2 dans le dépôt du matériel de voie.

Au Nord, les voies des remises, de la cour et de l'atelier sont reliées par un transbordeur à surface mû électriquement, avec voie de roulement perpendiculaire aux remises, qui assure le triage et la sortie des voitures du fond des remises, de même que l'amenée à l'atelier des

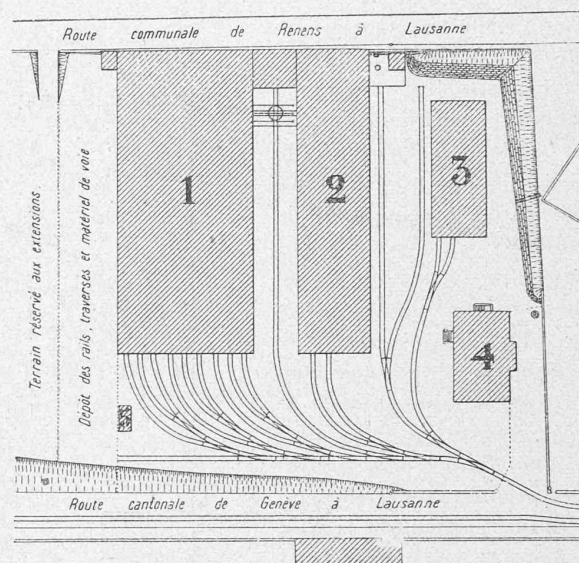


Fig. 20. — Plan du dépôt des Tramways lausannois, en Prélaz.  
Echelle : 1 : 1500.

voitures à réparer. Deux plaques tournantes, une à l'extérieur, l'autre à l'intérieur de l'atelier, complètent l'installation.

La longueur des voies posées dans le dépôt est de 1600 m. environ, en rails Phoenix, profil 5 F. Le transbordeur à niveau et sa voie de roulement, la plaque tournante et les 16 aiguillages spéciaux de 20 mètres de rayon ont été fournis par la Fonderie de Berne (Société L. de Roll).

La disposition des voies en éventail permet une bonne utilisation de tout un terrain rectangulaire, en limitant au strict nécessaire l'espace exigé par les bifurcations, mais elle présente par contre les inconvénients inhérents aux courbes de petit rayon ; le rayon minimum en Prélaz est de 16 mètres.

Les voies intérieures des remises et ateliers sont noyées dans le béton, les rails étant reliés au moyen de tringles d'écartement très espacées ; les voies et aiguillages extérieurs, par contre, sont posés sur traverses en fer, suivant le plan de pose normal.

La pose de toutes les voies a été faite en régie par la Société des Tramways lausannois.

Les constructions édifiées en Prélaz sont les suivantes :

Bâtiment d'administration, ateliers, annexe entre ateliers et remises, remises pour voitures, dépôt du matériel de voie, annexes pour W.-C., annexe pour sable.

#### Bâtiment d'administration.

Ce bâtiment mesure 20 m. sur 12 m, 40, avec un avant-corps de 6 m, 50 faisant une saillie de 1 m, 65. Cette construction comprend : un sous-sol, le rez-de-chaussée, deux étages et les combles ; nous donnons ci-contre les plans des trois étages affectés aux services des tramways (fig. 21).

Le bâtiment est pourvu des installations suivantes : Eau de la Ville pour consommation ménagère, eau de Bret, éclairage électrique et chauffage central.

Le courant pour l'éclairage est fourni par la Com-

<sup>1</sup> Voir N<sup>os</sup> du 10 et du 25 janvier 1907, pages 1 et 13.