



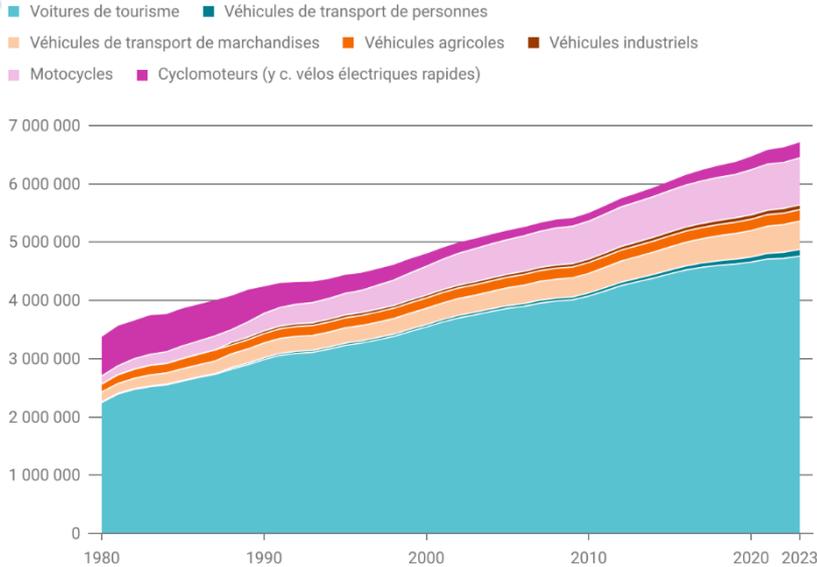
Le ciment rapide dans l'entretien des infrastructures routières, ferroviaires et aéroportuaires

Giovanni Martinola

CTO

Concretum Construction Science AG

Parc des véhicules routiers motorisés



- Croissance du nombre de véhicules motorisés 1990 – 2018¹: **+54 %**
- Croissance de la longueur des routes nationales 1990 – 2018²: **+ 24 %**
- L'infrastructure routière et ferroviaire atteint de plus en plus sa capacité maximale. Au même temps, les travaux de maintenance et d'augmentation de la capacité doivent être effectués
- Les chantiers routiers et ferroviaire sont souvent à l'origine d'embouteillages et de désagréments pour les automobilistes ou les passagers

→ Une des solutions possibles? Les Bétons à durcissement rapide!



Les types de ciment à durcissement rapide

Ciment Portland (OPC)

- À base de matières premières calcaires et argileuses
- Ciment Portland ordinaire (OPC) avec une finesse de broyage accrue
- Ciment Portland ordinaire (OPC) avec accélérateurs (par exemple nitrate de calcium $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ / nitrate de sodium NaNO_3)
- **Avantages**
 - → méthode peu coûteuse pour accélérer la vitesse de durcissement
 - → la résistance nécessaire est obtenue en 18 à 36 heures
- **Désavantages**
 - → si des accélérateurs sont utilisés, le béton peut avoir des problèmes de durabilité
 - → la chaleur générée lors de la réaction d'hydratation peut être très élevée



Les types de ciment à durcissement rapide

Ciment d'Aluminate de Calcium (CA)

- À base de calcaire (CaCO_3) et bauxite à faible teneur en silice (Al_2O_3)
 - **Avantages**
 - Développement très rapide de la résistance > 20 MPa en moins de deux heures
 - **Désavantages**
 - Haute chaleur produite lors du durcissement
- Souvent utilisé pour les petits travaux de réparation sous forme de mortier prêt à l'emploi ou comme ciment réfractaire



Les types de ciment à durcissement rapide

Ciments Sulfo-Alumineux (CSA)

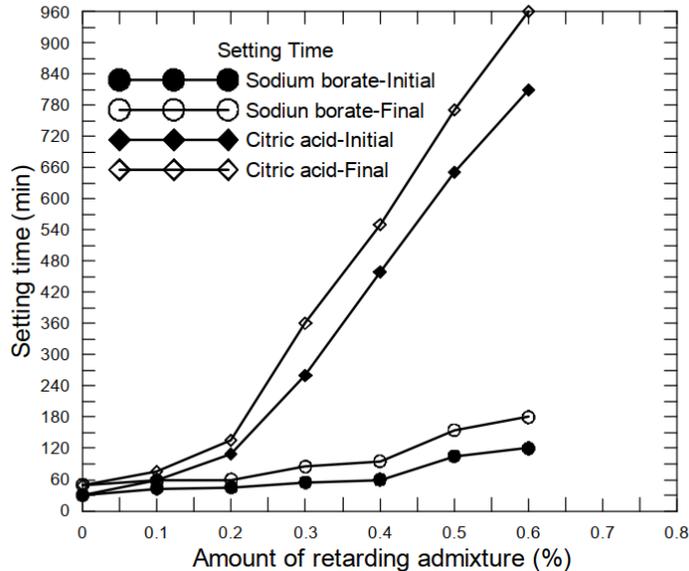
- ⑩ Utilisé pur ou mélangés avec des ciments OPC (phase bélitique)
- **Avantages**
 - Développement très rapide de la résistance > 20 MPa en moins de deux heures
 - Ciment à bas retrait et à basse production de chaleur
 - Durabilité comparable ou supérieure au ciment OPC
- **Désavantages**
 - Prix
 - Perte progressive de consistance/maniabilité lors de la mise en œuvre
- Les ciments rapides à base de CSA sont les plus utilisés pour les projets nécessitant une exécution très rapide



Retarder la réaction de durcissement

- ⑩ Un des principaux problèmes des bétons rapides est la durée très courte du temps d'ouvrabilité, notamment des ciments à base de CA et de CSA
- ⑩ En raison des temps d'ouvrabilité très courts, ils nécessitent une production sur site
- Il existe pourtant des substances qui contribuent à retarder le début de la réaction d'hydratation
 - l'acide citrique, l'acide trisodique ou l'acide tartrique
 - l'ajout d'additifs retardateurs permet de ralentir la réaction d'hydratation du béton et de retarder le temp de début de prise

Retarder la réaction de durcissement



Different amounts of retarding agent addition and initial/final setting time of CSA cement paste
(Ke et al. 2020)

L'ajout d'additifs retardateurs apporte de nombreux avantages tels que:

- la possibilité de produire le béton en centrale à béton
- la possibilité d'augmenter les quantités de béton mis en œuvre par application et le nombre des cas d'application possibles
- La possibilité de régler le temps de maniabilité en fonction de la température et des conditions du chantier



La production du béton rapide

Production en centrale à béton



Avantages

- Quantité et qualité du béton

Désavantages

- Excellente coordination entre la centrale à béton et l'entreprise de construction nécessaire

Production sur site



Avantages

- Flexibilité dans la production

Désavantages

- La quantité de béton qui peut être produite est limitée



Le type de béton utilisé: le mix-design

Ciment à base de CSA  développement rapide de la résistance et durabilité élevée

Superplastifiant  maniabilité souhaitée

Retardateur  durée de maniabilité souhaitée



Ciment rapide



Retardateur (L)

Superplastifiant (L)



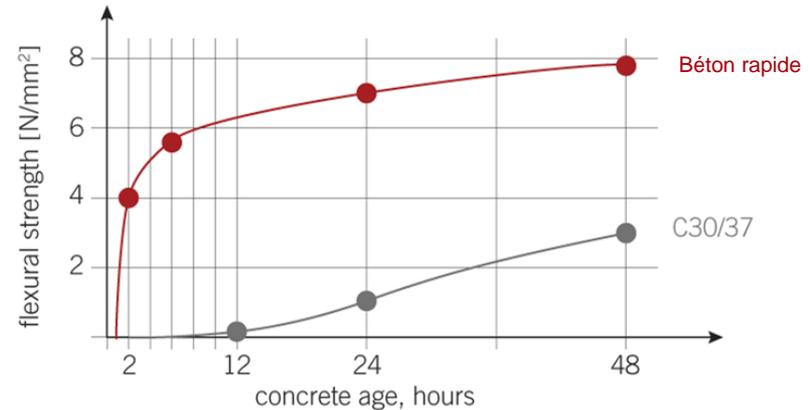
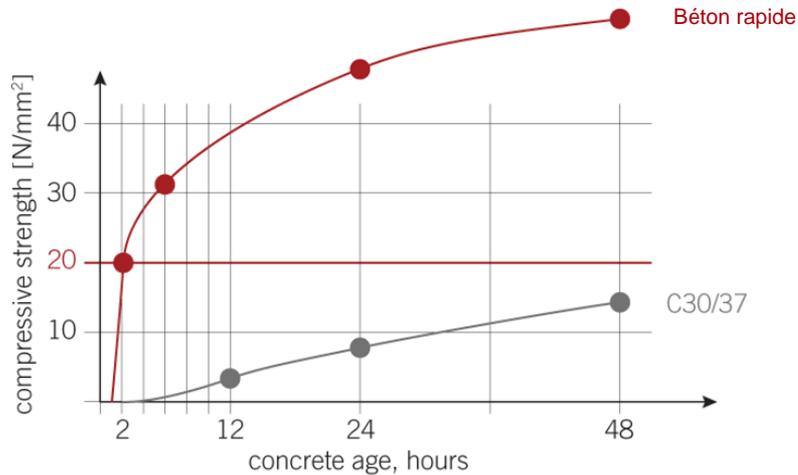
Eau



Granulats

La production du béton s'effectue de manière conventionnelle avec des temps de malaxage similaires au béton NPK G/F

Le type de béton utilisé: Développement des résistances



- Haute résistance au gel et aux sels de déverglaçage
- Faible production de chaleur d'hydratation $\cong 210$ kJ/kg
- Retrait hygrométrique limité $\cong -0.25$ ‰



Essais avant-projet

Avant chaque projet, il faut s'assurer que le béton satisfait les spécifications nécessaire, telles que:

- Maniabilité
- Durée de maniabilité
- Résistance à la compression
- Résistance au gel
- Retrait

Si tous les tests, tant en laboratoire qu'en centrale à béton, donnent un résultat positif, le béton peut être utilisé.





Les Projets en Suisse

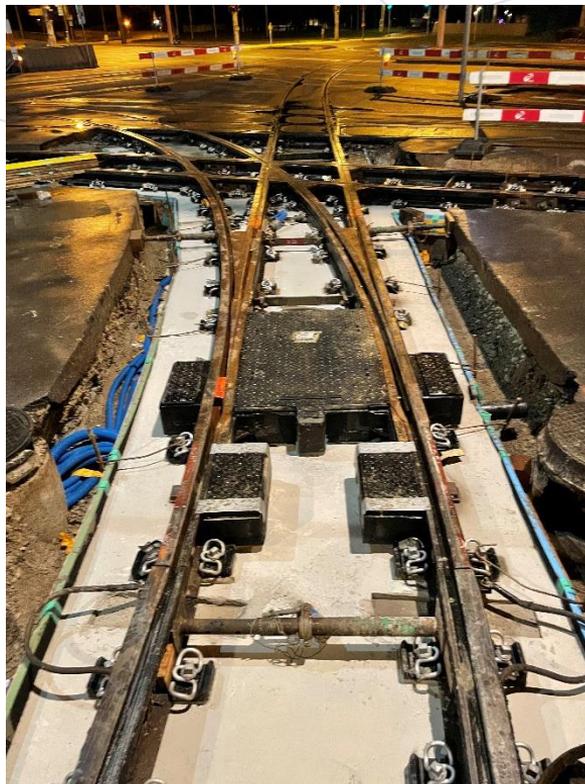


Les bétons rapides sont principalement utilisés les usages suivants:

- Infrastructures ferroviaires / routières
 - Ponts - structure porteuse et joints
 - Fondations
 - Ronds-points - revêtement
 - Arrêts de bus - revêtement
 - Tunnel
- Remplacement des voies du tram
- Pistes d'aéroport



Remplacement des voies du tram

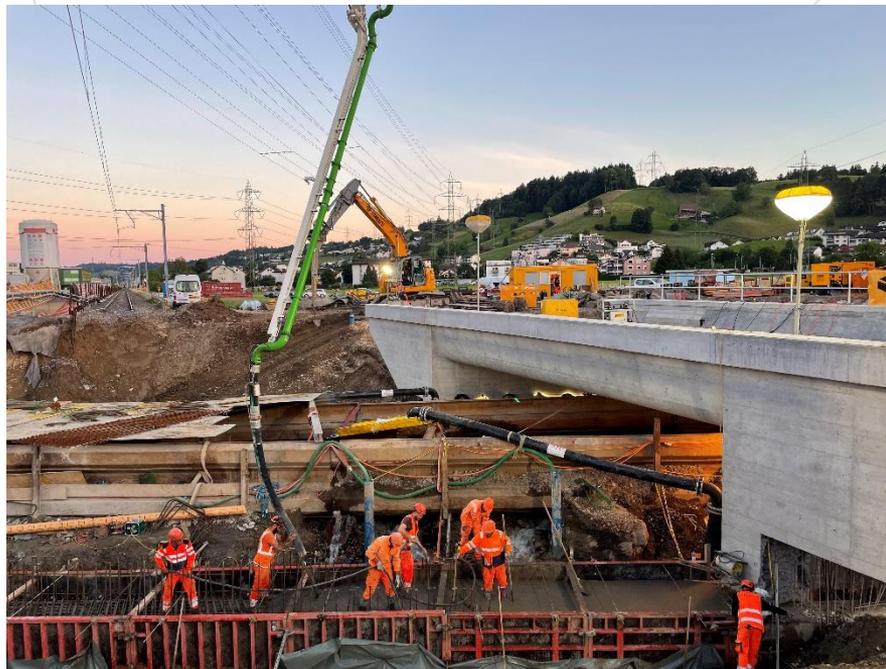


Dans le cas d'intersections particulièrement lourdes, les voies ne peuvent pas être soutenues par des supports. Pour le remplacement il faut donc utiliser du béton rapide.

- Dans le cas des travaux à Bâle (Entreprise de transport bâloise - BVB) la production du béton a lieu vers 00h30
- Le béton est produit dans une centrale à béton située à environ 15 minutes
- Le béton reste ouvrable pendant environ 90 min
- À 05h00 le béton doit atteindre 25 MPa
- 15 à 20 m³ par installation



Doublement de voie sur le tronçon Uznach – Schmerikon (SG)



Pour permettre l'augmentation de la capacité de la ligne ferroviaire une deuxième voie a dû être construite.

- Afin de permettre la construction de la deuxième voie, deux ponts ont dû être remplacés
- Les deux nouveaux ponts ont été préfabriqués au côté
- Après la démolition des vieux ponts, avant de pouvoir déplacer les nouveaux ponts, les nouvelles fondations ont été posées avec du béton rapide



Doublement de voie sur le tronçon Uznach – Schmerikon (SG)



- Deux heures après la mise en place du béton, les fondations avaient déjà atteint une résistance à la compression suffisante pour commencer la translation du pont
- Grâce à l'utilisation de béton rapide, en un seul week-end, les ponts ont été remplacés et la ligne a été rouverte aux passagers le lundi matin
- Quantité totale de béton rapide pour les deux ponts: 200 m³



A8 Brienersee Tunnel



Le projet de rénovation totale du tronçon Interlaken-Est – Brienz (A8), pour un total de trois tunnels, comprenait des travaux de:

- Réaménagement d'aération
- Renouvellement des accotements pour l'évacuation des eaux
- La pose d'un nouveau revêtement sur certaines sections de chaussée



A8 Brienersee Tunnel



Pour la pose de béton rapide, le contrôle de la température est très important:

- Plus la température est élevée, plus le dosage de retardateur doit être élevé
- L'évolution de la température renseigne sur la durée de maniabilité du béton

Dans le cas de ce projet, le béton était produit à Rubigen, à une distance de 45 minutes du chantier, le béton devait donc rester ouvrable pendant près de 2 heures. 5 à 10 m³ per installation.



Remise en état du viaduc des CFF sur la Singine

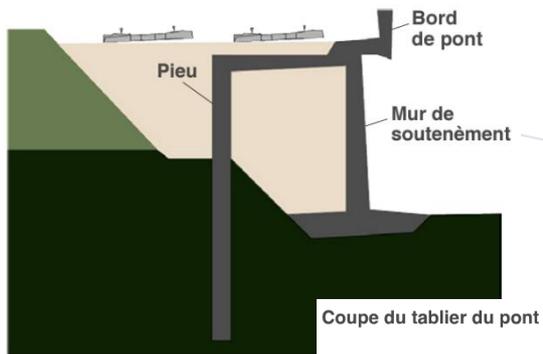


Construit en 1925, sur la ligne ferroviaire Fribourg-Berne, le viaduc de la Singine a dû être complètement modernisé à l'été 2020.

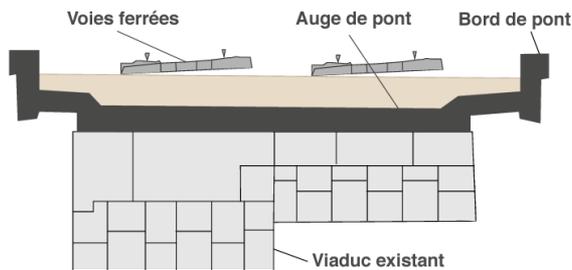
Les travaux de réhabilitation ont duré 21 jours, tandis que ceux de pose de béton ont duré 11 jours.

Remise en état du viaduc des CFF sur la Singine

Coupe de l'appui est



Coupe du tablier du pont



Le projet impliquait la reconstruction d'un nouveau tablier ferroviaire (Bord et Auge) sur le pont existant et le remplacement d'un mur de soutènement.

Pour accélérer les travaux, un béton rapide a été utilisé, ce qui a permis le décoffrage en 6 heures.



Remise en état du viaduc des CFF sur la Singine



Le béton a été livré en deux consistances différentes pour être pompé ou mis en œuvre à l'aide d'une grue.

Deux centrales à béton ont été utilisées simultanément 24 heures sur 24 pour la production du béton.

Quantité totale de béton rapide 1130 m³.



Réhabilitation des dalles des pistes de décollage



Le remplacement des dalles doit avoir lieu entre 23h30 et 05h00. Chaque nuit, les étapes suivantes doivent être effectuées:

- Travaux de démolition
- Mise en place goujons et armature
- Production du béton
- Mise en œuvre
- Découpe des joints

→ Objectif: atteindre une résistance à la compression de 16 MPa à 5 heures du matin



Réhabilitation des dalles des pistes de décollage





Pour conclure

La recherche et le développement de bétons rapides a fait de grands progrès récemment. Les bétons rapides peuvent donc être utilisés pour diverses applications, indépendamment de la taille ou du type d'infrastructure.

Avantages

- Durabilité comparable voire supérieure au béton conventionnel
- Délais d'exécution raccourcis
- Réduction des désagréments pour les automobilistes et les passagers
- Réductions des émissions de CO₂

Désavantages

- Plus grands travaux de préparation et coordination sont nécessaires avant et pendant les projets
- Coût du béton rapide



MERCI POUR VOTRE ATTENTION !

⑩ Giovanni Martinola

⑩ gm@concretum.com

⑩ T: +41 44 445 13 46

⑩ concretum.com