Différentes méthodes de construction des ponts en béton

Avril 2017

De nombreux procédés ont été mis au point au cours de ces dernières décennies en optimisant les évolutions sur les performances des matériaux, les innovations des techniques de chantier et en exploitant les progrès constants des méthodes et moyens de fabrication.

Différentes méthodes de construction des ponts en béton

Les ouvrages sont en général construits à leur emplacement définitif. Mais certaines contraintes spécifiques du site (difficultés d'accès, zones urbanisées, voies routières, ferroviaires ou rivière à franchir...) ne permettent pas de réaliser l'ouvrage dans sa position finale.

Plusieurs techniques ont donc été développées pour mettre le tablier à son emplacement définitif après son bétonnage en le déplaçant par poussage, translation, rotation, ripage... techniques innovantes s'adaptant aux franchissements les plus divers.

La conception d'un ouvrage dépend donc beaucoup de son procédé de construction. Le procédé aura une incidence sur les dispositions constructives à respecter sur le chantier tels que les phasages de mise en précontrainte, les reprises de bétonnage...

Les méthodes d'exécution des ouvrages sont souvent sensiblement différentes lorsqu'il s'agit de réaliser un ouvrage sans contrainte extérieure ou s'il doit être réalisé avec maintien du trafic routier ou de l'exploitation de l'infrastructure ferroviaire.

En général les ponts courants en béton sont construits à leur emplacement définitif, soit sur étaiement, soit sur cintres selon qu'il faille ou non maintenir une circulation pendant les travaux. Dans quelques cas, afin de réduire au minimum les aléas et servitudes dus au maintien de la circulation, des techniques permettent de réaliser l'ouvrage à proximité de son emplacement définitif, donc sans coupure ou gêne pour la circulation, puis en profitant d'une coupure programmée dans une période favorable (week-end prolongé, saison non touristique, ...), de le déplacer à son emplacement définitif.

Construction sur étaiements (échafaudage au sol ou sur cintre)

Quand le tablier est situé à faible hauteur au-dessus d'un sol de bonne portance et qu'il n'y a pas de contrainte d'occupation de la brèche à franchir, la méthode de construction la plus simple et la plus économique consiste à réaliser le tablier sur un cintre ou sur un échafaudage directement appuyé au sol.

Cette méthode de construction est celle qui est la plus couramment utilisée pour les ponts courants en béton. Elle est particulièrement adaptée pour la réalisation de ponts dalles, de cadres ou de portiques coulés en place.

Le phasage de construction comporte les étapes suivantes :

- réalisation des appuis avec des systèmes de coffrages verticaux classiques,type banche ou équivalent (ces éléments coffrants doivent être stabilisés pour reprendre les efforts de poussée dus au vent en cours de travaux et au bétonnage).
- mise en place :
- de l'étaiement vertical qui doit soutenir le poids de la structure du tablier en cours de réalisation et le poids des coffrages horizontaux ;
- de l'étaiement horizontal à base de profilés s'appuyant en tête de l'étaiement vertical ;
- des plateaux coffrants prenant appui sur les profilés.
- mise en place des armatures du tablier et, éventuellement, mise en place des gaines de précontrainte.
- bétonnage du tablier.
- mise en précontrainte éventuelle du tablier.
- décintrement des coffrages et enlèvement de l'étaiement général.

Le cintre est un ouvrage provisoire dont il convient d'assurer la stabilité de la structure et de ses appuis et fondations pendant toutes les phases de travaux. Il faut aussi prendre en compte sa déformabilité et compenser par des contre-flèches de construction, les déformations générées lors du bétonnage.

Poutres préfabriquees

Ce procédé de construction consiste à réaliser le tablier d'un pont au moyen de poutres préfabriquées, mises en place sur leurs appuis définitifs avec des dispositifs de manutention et de pose appropriés, et reliées entre elles dans le sens transversal par un **hourdis** sous chaussées et des entretoises.

Deux types d'ouvrages sont principalement réalisés avec cette méthode :

- Les ouvrages autoroutiers (passages supérieurs et inférieurs) de faibles portées, constitués, soit de poutres en béton armé, soit de poutres précontraintes par pré-tension (poutres PRAD).
- Les ouvrages de portées moyennes dont les poutres sont en béton précontraint par post-tension.

Les avantages de ce type d'ouvrage résident essentiellement dans leur rapidité d'exécution et leur caractère économique dans le cas d'ouvrages répétitifs permettant une industrialisation de la fabrication.

Les poutres précontraintes par post tension sont préfabriquées en général sur le site, précontraintes (mise en tension de quelques câbles aussitôt après le **décoffrage** dès que la résistance du béton est suffisante) et mise en place à l'aide d'engins de manutention. Les poutres sont solidarisées par des entretoises, qui permettent de rigidifier la structure en **torsion**, situées aux extrémités de chaque **travée** (au niveau des appuis).

Le hourdis est constitué d'une dalle en béton coulée en place. Les poutres sont soumise ensuite à une deuxième mise en tension des câbles de précontrainte.

La **section** transversale des tabliers fait l'objet de deux types de conception structurale :

- poutres préfabriquées reliées par des tronçons de dalle de raccordement en béton coulée en place entre les poutres (solution à hourdis intermédiaire)
- poutres préfabriquées reliées par une dalle en béton (épaisseur de l'ordre de 20 cm) coulée en place sur toute la largeur (solution à hourdis général)

Le nombre et l'espacement des poutres résultent d'une optimisation lors du dimensionnement (grand nombre de poutres de faible hauteur ou nombre limité de poutres de grande hauteur). L'entraxe des poutres est généralement compris entre 2.5 et 3.5 mètres.

La hauteur optimale (h) des poutrescorrespond à un élancement L/h = 16 à 17 avec des bétons de résistance à 28 jours de l'ordre de 35 à 40 MPa

Avec L : distance séparant les axes des appareils d'appui.

Une poutre est constituée de trois parties :

- l'âme qui est mince en travée et qui s'élargit au niveau des appuis
- le talon dont les dimensions sont fonction des conditions d'encombrement de la précontrainte
- la membrure supérieure qui est dimensionnée par les conditions de flexion et de résistance au poinçonnement de la dalle sous les charges localisées.

Les âmes ont une épaisseur variable de 20 à 35 cm, déterminée en fonction des conditions de bétonnage et des dispositions constructives à respecter pour la précontrainte (largeur de l'âme égale au moins à trois fois l'épaisseur du conduit de précontrainte).

La dalle d'un tablier à hourdis général est coulée sur des coffrages perdus constitués de dallettes en **mortier** de fibres ou en béton armé qui sont participantes ou non .Leur portée est comprise entre 0.5 et 1.0 mètres. Elles s'appuient aux extrémités des ailes des poutres dans des feuillures de 5 à 6 cm de largeur et 2 à 3 cm d'épaisseur. La dalle en béton armé à une épaisseur comprise entre 15 et 20 cm en fonction de l'entraxe des poutres.

Les ponts à poutres sont bien adaptés aux franchissements droit .Ils peuvent aussi être utilisés pour des ouvrages courbe ou de largeur variable (en jouant sur l'espacement des poutres) ou des ouvrages biais.

Nota : L'extrémité des poutres constitue la zone d'about qui présente un débord de l'ordre de 50 cm par rapport à l'axe des lignes d'appuis .La longueur de la poutre est donc égale à la portée augmentée d'une longueur de l'ordre d'un mètre.

Les entretoises d'about sont coulées en place. Elles ont une épaisseur de l'ordre de 25 à 30 cm.

*Nota : Il convient d'être vigilant sur la stabilité des poutres en phase de manutention et après mise en place sur appuis définitifs en **attente** du bétonnage des entretoises et du hourdis.*

Construction par poussage

Ce procédé consiste à construire le tablier par éléments successifs (tronçons), sur une ou deux aires de **préfabrication** situées, à l'arrière de l'une ou des deux culées dans le prolongement de l'ouvrage définitif. Au fur et à mesure de la réalisation des tronçons, le tablier est progressivement déplacé par poussage en glissant sur ses piles, jusqu'à sa position définitive.

Afin de limiter les efforts de porte-à-faux lors des opérations de poussage et faciliter le franchissement des appuis, l'extrémité du tablier est équipée, généralement, d'un **avant-bec** métallique, parfois associé à un mât équipé de haubans provisoires.

Pour cette technique le tablier doit être de hauteur constante, il faut pouvoir disposer en arrière des culées d'une longueur suffisante (au moins la longueur d'une **travée**) pour aménager l'aire de fabrication du tablier.

Le tablier peut être une dalle, une dalle nervurée ou un **caisson**.

La **portée** courante des ouvrages, à travées multiples, poussés d'un seul côté, est généralement comprise entre 40 et 50 m. La grande portée des ouvrages poussés à partir des deux rives atteint généralement 70 à 80 m.

Les avantages de ce type de construction sont liés à sa rapidité d'exécution, à la construction du tablier sur une aire facilement accessible, à une simplification, d'où un faible coût du **coffrage** et à l'absence d'échafaudage dans la brèche. Cette solution se justifie particulièrement lorsque la brèche est d'accès difficile ou impossible (piles de grande hauteur, par exemple). Elle permet de réduire la gêne aux usagers dans le cas d'ouvrage construit sous circulation. Elle est adaptée aux tabliers rectilignes ou courbes dans leur plan longitudinal ou transversal.

Construction par rotation

Quand un ouvrage franchit une brèche au-dessus de laquelle il est impossible ou coûteux de le construire directement (ouvrage sous circulation, franchissement de rivière), celui-ci peut être construit par moitié sur chacune des deux rives (ou entièrement sur une rive), parallèlement à l'axe de la brèche et amené ensuite à son emplacement définitif par rotation autour de ses appuis.

*Nota : Pour les ouvrages construits par moitié, une fois les deux fléaux tournés et alignés le bétonnage du **joint** de clavage assure la continuité de l'ouvrage.*

Cette méthode peut être appliquée à une structure à deux travées .Le fléau unique symétrique ou pas est construit parallèlement à l'axe de la brèche à franchir et mis en place par rotation autour de l'unique pile centrale.

Cette technique nécessite d'étudier avec précaution des points importants :

- la rotation et la stabilité du fléau pendant cette opération
- l'effort nécessaire à appliquer à la structure pour effectuer la rotation

Cet effort peut être appliqué au tablier soit au droit de l'appui tournant, soit au droit de l'appui arrière de stabilité .Il est généré par un ou plusieurs vérins disposés tangentiellement au cercle de rotation.

Construction par encorbellement

La construction par encorbellement consiste à construire le tablier par tronçons à partir des piles. Les tronçons successifs (voussoirs) sont exécutés symétriquement de part et d'autre de la pile sans utilisation de cintres ou d'échafaudages. Ils peuvent être coulés en place dans des coffrages portés par des équipages mobiles ou préfabriqués. Ils sont assemblés par des câbles de précontrainte.

Après réalisation ou assemblage d'une paire de voussoirs supplémentaires de part et d'autre du **fléau** (par encorbellement avec celui qui le précède), des câbles de précontraintes permettent d'associer ces nouveaux voussoirs au fléau.

Les voussoirs préfabriqués sont construits dans des cellules ou doucines .Ils sont mis en place à l'aide de poutres de lancement, à la grue ou par des engins de levage portés par le tablier.

Pour des portées supérieures à 70 m, on a recours à un tablier de hauteur variable plus délicat à construire mais, plus économique et plus esthétique. Il peut être encastré sur les piles (encastrement total) ou simplement posé sur une file d'appareils d'appui (appuis simples).

Transversalement le tablier est souvent un **caisson** unicellulaire. Le **hourdis** supérieur, débordant en console de part et d'autre, peut être raidi par des nervures transversales ou par des bracons. Il est parfois précontraint transversalement. Il est possible d'atteindre des largeurs de plus 30 m.

Cette technique est adaptée à des portées comprises entre 60 et 150 mètres. Elle a **permis de construire** des ouvrages ayant des portées de plus de 200m. La gamme des portées les plus courantes est comprise entre 70 et 90 mètres.

Préfabrication

La préfabrication est une méthode de construction traditionnelle des ouvrages d'art.

On distingue trois échelles très différentes de la notion de préfabrication :

- l'échelle de la préfabrication transportable par voie routière qui correspond à la fabrication de pièces préfabriquées en usine (poutres, parements...) dont la masse est limitée à 25 tonnes voire 30 tonnes : préfabrication concevable en usine,l'échelle de la préfabrication manipulable sur chantier au moyen d'engins spécifiques (par exemple fardiers) qui correspond à des éléments dont la masse peut atteindre 100 à 150 tonnes.
- l'échelle du gigantisme où les éléments préfabriqués peuvent atteindre plusieurs milliers de tonnes, jusqu'à 10 000 tonnes et qui ne sont transportables que par voie maritime, soit par mise en flottaison des éléments préfabriqués eux-mêmes, soit au moyen d'engins de levage et de transports exceptionnels.

Fréquemment, la préfabrication sur le chantier de pièces de grandes dimensions permet de simplifier les conditions de mise en œuvre, c'est une solution applicable aux ouvrages construits par encorbellement ou par **travée** entière.

Construction par cintre auto lanceur

Ce procédé de construction à l'avancement par travée entière consiste à réaliser le tablier sur un cintre métallique autoporteur, s'appuyant sur les appuis définitifs de l'ouvrage (piles ou culées) et pouvant se déplacer d'une manière autonome d'une travée à l'autre.

Le tablier est soit bétonné sur ce cintre, soit constitué par l'assemblage de voussoirs préfabriqués.

Les domaines d'emploi des cintres auto-lanceurs est compris entre 30 et 55 m , les portées optimales étant situées entre 40 et 50 m .

Ce procédé s'applique économiquement aux ouvrages rectilignes généralement à **section** constante .Les avantages proviennent de la suppression des échafaudages avec appuis au sol et la rapidité d'exécution .L'inconvénient réside dans l'important cout d'investissement du cintre autolanceur.

Ripage transversal

Le principe de la mise en place d'un ouvrage par ripage consiste à fabriquer le tablier à côté de son emplacement définitif puis à le déplacer par ripage transversalement à son emplacement définitif .Pendant toute la phase de ripage le schéma statique du tablier reste constant .Cette solution permet de limiter l'occupation de l'emprise de l'ouvrage définitif (cas des ouvrages situés au-dessus de voies routières , autoroutières ou ferroviaires en service et dont on cherche à limiter au maximum la période de perturbation du trafic .

Quelques procédés particulier de construction

Les procédés particuliers de construction concernent des solutions où l'ouvrage est construit à proximité de son emplacement définitif avant d'être mis en place à sa position définitive.

Ces techniques particulières sont en général mises en œuvre, soit pour réaliser, soit pour remplacer un ouvrage dans des délais très courts en limitant au minimum la gêne aux usagers des voies franchies.

Procédé d'autoripage

Cette technique est adaptée pour la réalisation d'ouvrage devant assurer le franchissement de voies routières ou ferroviaires en service.

L'ouvrage en **béton**, en général un **cadre** ou un portique, est, dans ce cas, construit sur étaiements sur une aire de **préfabrication** en général proche de son emplacement définitif (par ouvrage complet ou sous forme de demi-ouvrages jumeaux).

Pendant une coupure du trafic, la zone à franchir est terrassée. L'ouvrage est alors mis à son emplacement définitif par ripage, par fonçage ou à l'aide de puissants moyens de manutention.

On procède ensuite, selon le cas, à la reconstruction de la chaussée ou à la pose du **ballast** et des voies ferroviaires.

Cette solution ne nécessite qu'un temps réduit de mise en place de l'ouvrage, elle permet de diminuer le plus possible l'interruption de la circulation (généralement effectuée de nuit ou lors d'un week-end) et donc la perturbation du trafic.

Elle est principalement utilisée pour la réalisation de ponts-rail sous voies SNCF. Le surcoût de réalisation est très largement compensé par le gain sur les ralentissements des convois et les travaux d'aménagement par rapport à une solution classique.

NOTA : La technique utilise en général un coulis (à base de **bentonite**) qui, injectée sous l'ouvrage à déplacer, crée un plan de glissement offrant peu de frottement.

L'effort de **traction** ou de poussage est en général obtenu par des câbles prenant **ancrage** sur des massifs de butée.

Le phasage des travaux comprend :

- la réalisation d'un radier de guidage provisoire destiné à guider l'ouvrage pendant son ripage et à reprendre la totalité des efforts de poussage,
- la construction de l'ouvrage à proximité et au plus près de son emplacement définitif,
- le terrassement général après coupure des circulations,
- le ripage de l'ouvrage à l'aide de câbles de précontrainte
- les travaux de remblaiement de l'ouvrage et de rétablissement des voies
- La remise en service de la circulation.

Cette solution limite la coupure des voies à 2 ou 3 jours.

Nota : La présence d'un radier permet d'envisager cette solution pour des sols à faible portance admissible.

Procédé de translation « Transpra »

Il s'agit d'une méthode de ripage variante de la précédente. Elle consiste à réaliser l'ouvrage dans sa totalité à proximité des voies routières ou ferroviaires, avec le phasage suivant :

- réalisation de l'ouvrage,
- mise en place des poutres porteuses (en béton ou constituées de profilés métalliques) destinées à supporter l'ouvrage pendant sa translation,
- mise en place des chariots moteurs sous les poutres porteuses,
- terrassements généraux des voies à franchir, après coupure de la circulation,
- levage de l'ouvrage à l'aide des chariots et déplacement par roulage au sol de l'ensemble jusqu'à l'emplacement définitif, dans un délai très court,
- mise en place de l'ouvrage à sa position définitive avec une grande précision et finitions,
- remise en circulation,
- dépose des poutres porteuses.

La distance de transport de l'ouvrage n'est pas limitée (de quelques mètres à quelques centaines de mètres), l'ouvrage peut être construit dans une position quelconque par rapport à son emplacement définitif.

Procédé de construction par poussage 1 – 2 – 1

Les tabliers franchissant une autoroute sont en général à trois travées continues, les travées de rive ayant une longueur comprise entre 0.5 et 0.55 fois la longueur de la travée centrale.

La méthode consiste à réaliser chaque demi-tablier sur les remblais de part et d'autre de l'autoroute. Chaque demi-tablier est réalisé par « morceaux » ou voussoirs avec en général un voussoir sur **pile** et un voussoir sur **culée** particuliers et des voussoirs courants puis mis en place par poussage. Les piles et les culées sont réalisées de manière traditionnelle.

La coupe transversale du tablier est constituée de 1 à 5 caissons (en général pour les tabliers de faible largeur, il n'y a qu'un ou deux caissons).

Les 2 demi tabliers une fois en place sont clavés pour assurer la continuité.

Nota : La méthode de poussage peut s'appliquer à un pont-dalle ; dans ce cas le tablier est construit à l'arrière d'une culée, muni d'un **avant-bec** et poussé jusqu'à l'autre culée. Une précontrainte provisoire, antagoniste de la précontrainte définitive, est nécessaire en vue d'obtenir une précontrainte pratiquement centrée pendant la phase de poussage.

Cas d'ouvrages à ossatures métalliques

Structures mixtes

Les tabliers des ponts routiers, autoroutiers ou ferroviaires mixtes acier-béton sont constitués de poutrelles métalliques longitudinales supportant une dalle en béton.

La dalle en béton assure la répartition transversale des charges. Elle peut être coulée en place sur des coffrages réutilisables fixes ou non (éventuellement sur des prédalles) ou constituées d'éléments préfabriqués en béton. Dans ce cas, pour les tabliers bi-poutres, la dalle préfabriquée couvre toute la largeur de l'ouvrage. Des ouvertures au droit des poutres permettant la connexion avec celles-ci .Après pose, les ouvertures et les joints de clavage entre dalles sont bétonnés pour assurer la continuité de la dalle et la jonction aux poutres.

Le principe d'exécution est le suivant :

- pose des poutres principales sur leurs appuis définitifs avec leurs dispositifs antidéversement,
- réalisation des hourdis en béton soit sur des éléments coffrants, soit avec des éléments préfabriqués,
- finitions et mise en place des équipements du tablier

Nota : Dans certains cas, les poutres principales, assemblées par deux, peuvent être lancées, éventuellement avec un avant bec, au dessus des voies à franchir.

Tabliers de pont à poutrelles enrobées

Le tablier d'un pont à poutrelles enrobées est constitué d'une dalle pleine en béton renforcée longitudinalement par des poutrelles laminées en acier faiblement espacées (60 à 75 cm) et transversalement par des **armatures**.

L'ensemble « poutrelles + béton » forme une **section** mixte. Ce type de construction, essentiellement utilisé pour des ouvrages ferroviaires, est robuste et durable avec une réserve de résistance importante. Cette solution convient pour des tabliers très élancés. La mise en œuvre est simple et ne nécessite pas d'étaiement et donc perturbe très peu la circulation des voies franchies.

Le phasage de réalisation de ce type d'ouvrage est le suivant :

- pose des profilés cintrés en fonction des profils en long et des contreflèches calculées sous charges permanentes ;
- mise en place des coffrages perdus sur les ailes inférieures des poutrelles ;
- mise en place des barres d'écartement des profilés pour assurer la stabilité au bétonnage ;
- mise en place des armatures transversales en partie basse par enfilage dans des trous percés dans les âmes et en partie supérieure ;
- mise en place des coffrages latéraux ;
- coulage du béton par couches successives.

Auteur
Patrick Guiraud

Retrouvez toutes nos publications sur les ciments et bétons sur infociments.fr

Consultez les derniers projets publiés
Accédez à toutes nos archives
Abonnez-vous et gérez vos préférences
Soumettez votre projet

Article imprimé le 15/06/2025 © infociments.fr