

La ligne de chemin de fer du Yunnan. 1910



Kunming. Musée du chemin de fer du Yunnan. Collection Yvan Velot

Une Michelin

La mythique automotrice sur la ligne du Yunnan

Chine. Ligne de chemin de fer du Yunnan. Présentation ¹



Fond de plan : Henri Lartilleux



Bibliothèque numérique école des ponts et chaussées

Le chemin de fer, dans le site tourmenté de la boucle du Faux- Namty

Le chemin de fer du Yunnan constitue la ligne la plus longue et la plus difficile construite à l'étranger par une entreprise française au début du 20^{ème} siècle dans son intégralité (terrassements, ouvrages d'art, voies). Chemin de fer réalisé dans un site très accidenté, avec des forêts vierges et de nombreuses rivières, il ne peut être rapproché que du chemin de fer Congo-Océan, y compris pour les conditions climatiques et sanitaires extrêmes rencontrées d'une part dans la basse vallée du Namty (Chine), d'autre part dans la traversée du massif du Mayombé (Congo), ainsi que sur chantier du canal de Panama.

Les solutions mises en œuvre pour faire face aux nombreuses difficultés rencontrées sur cette ligne exceptionnelle méritent d'être rapportées. C'est l'objet du présent document qui s'appuie particulièrement sur l'ouvrage remarquable (deux tomes) édité en 1910 par l'Imprimerie G. Goury (Paris):

Compagnie française des chemins de fer de l'Indochine et du Yunnan (France); Société de construction des chemins de fer indo-chinois (France). Le chemin de fer du Yunnan. [Cf, par exemple ,Bibliothèque numérique patrimoniale des ponts et chaussées, accessed April 27, 2016,/document/ENPC_03_OUV_Fol_25244-1 (et -2)]

Un exemplaire du tome 2, provenant de M. Louis Roche alors Secrétaire à la direction du chemin de fer du Yunnan, a finalement été transmis à M. Alain Vignau qui l'a communiqué au groupe patrimoine d'IESF : il en est très chaleureusement remercié.°°

° Référence mentionnée ultérieurement : Bibliothèque numérique école des ponts et chaussées

°° Référence mentionnée ultérieurement : Roche-Vignau

Le nouveau tracé, long de 465 km, part de Lao-Kai en empruntant rapidement la vallée de la Nam-Ti, rejoint le col de Mitali, passe au nord de la ville de Mong-tseu (siège de l'entreprise), emprunte les vallées du Pa-Ta Ho et du Tachen-Ho, puis atteint la vallée de Yunnan-fu, en passant par le col de Chouei-Tang à 2.026 m.

Il rencontre un relief très accidenté, souvent instable, d'où le tracé fréquemment tortueux de la ligne.

Aussi, les travaux comportent-ils un nombre considérable d'ouvrages de génie civil :

- dégageant une plateforme de 4,60 m, la construction de la voie nécessitera 16.600.000 m³ de terrassements, généralement en terrain rocheux, ainsi que le montre la photographie ci-contre. Ces terrassements ont provoqué de multiples glissements de terrains, laborieusement maîtrisés, accompagnés de nombreux ouvrages de soutènement,
- 155 tunnels totalisant 17,9 km de longueur en tout,
- 3.422 ponts et aqueducs, parmi lesquels 107 viaducs importants, la plupart étant construits en maçonnerie, avec toutefois 22 ouvrages métalliques. Deux d'entre sont tout à fait remarquables : le pont à arbalétriers et le pont en dentelle.

Les études se sont poursuivies sur ce nouveau tracé (rapport de l'Ingénieur en Chef des Mines Lantenois) :

- de Lao-Kay à Yunnan-Fou, la géologie révèle successivement une zone de terrains primaires fortement métamorphisés (gneiss et schistes lustrés), une zone de terrains secondaires peu métamorphisés, une zone de terrains primaires non métamorphisés.

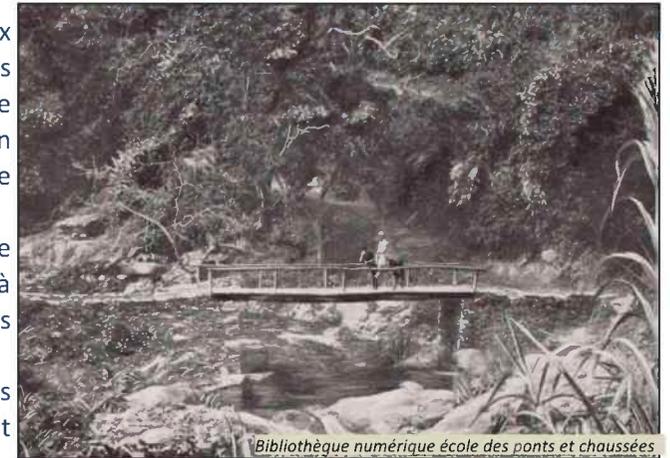
Chemin de fer du Yunnan. Présentation ²

- les perspectives d'exploitation minière sont renforcées: « *il s'y cache une incroyable profusion de métaux et l'on a pu prétendre que le Yunnan est la contrée minière par excellence : gisements exceptionnellement étendus d'une houille grasse d'une qualité rare, partout du fer magnétique très riche d'extraction facile, cuivre en quantités illimitées, richesse en pierre précieuses* ». Ainsi se trouvait renforcé l'intérêt de la ligne. La réalité démentira cruellement ces perspectives.

Le transport des matériaux pour le chantier, d'importance vitale, fut particulièrement difficile.

- D'abord, la ligne ferroviaire trans-indochinoise Haïphong-Laokai devant transporter les chaux et ciments produits près du port, ainsi que les éléments de ponts métalliques et les équipements de voie importés (etc..) n'atteignit Lao-Kai qu'en 1906. Le transport depuis le port de Haiphong fit longtemps appel aux bateaux du Fleuve rouge. Ainsi, les voyages en jonque chinoise allaient jusqu'à Man-Hoa puis se poursuivaient jusqu'à Mong-Tseu par le « Chemin des 10.000 escaliers ».
- Ensuite, aucune route n'alimentait le chantier. Dès l'origine, la construction d'un chemin de service, large de 1,20m à 1,50 m, fut décidée. Il doublera le tracé, y compris, dans la zone déjà difficile du Namti avec des ouvrages métalliques provisoires type ponts Eiffel démontables pour franchir les brèches importantes.

La longueur des pièces était limitée à 2,5 m. Le portage se faisait soit à dos d'homme par les coolies, la charge pouvant atteindre 40 kg, soit à dos de mulet, pour des charges pouvant atteindre 80 kg. Ce sont ainsi 12.000 mulets qui furent mobilisés tout le long de la ligne.



Le chemin de service (km 29)



Jonques chinoises de transport sur le Fleuve Rouge entre Laokai et Man-Hoa



Transport à dos de mulet
Au fond, construction d'un viaduc métallique



La cohorte des coolies transportant des matériaux

Chemin de fer du Yunnan. Terrassements ¹

Le profil en long de la ligne, ci-contre, met en évidence le choix de suivre au mieux les vallées des rivières rencontrées.

- . de l'origine au km 157 (col de Milati à 1.710 m), le tracé suit la vallée du Namty, sur 130 km.
- . du km 157 au km 226 la tracé rejoint la vallée du Pataho,
- . du km 226 au km 301, il longe la vallée du Pataho,
- . du km 301 au km 404 il utilise la vallée du Tatchenho,
- . du km 404 au km 430 il atteint le col de Chouen-Tang
- . du km 430 au km 465, il se situe sur la plateaux de Yunnanfou.

Ce profil en long, associé au tracé en plan, a permis de limiter les pentes de la voie à 25mm/m et le rayon à 100 m seulement.

Dans les sections en remblai, la largeur de la plateforme est de 4,40 m. Les pentes des talus sont réglée à 3/2 avec de fréquents recours à des murs de soutènement de pied.

En section de déblais rocheux, la largeur de la plate forme est ramenée à 3,40 m. La pente de base des talus est de 1/1, ajustée à la tenue des sols (3/2 etc.), et elle atteint 10/1 en roche massive.

Le tracé est établi en déblai sur 90% le la ligne, dont 51% en terrain rocheux. Les travaux sont exécutés au pic, à la pioche, à la pelle et à la brouette, avec le recours à l'explosif.

Ainsi, les terrassements de déblais atteindront 16.000.000 m³, mais seulement 500.000 m³ de remblais, tandis que les extractions des tunnels représenteront 500.000 m³

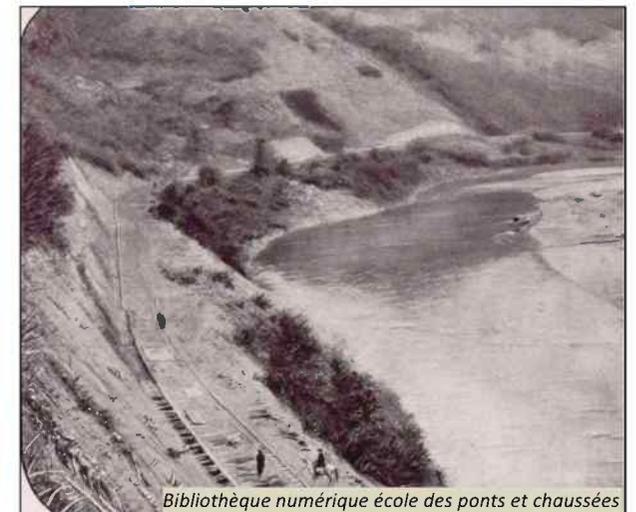
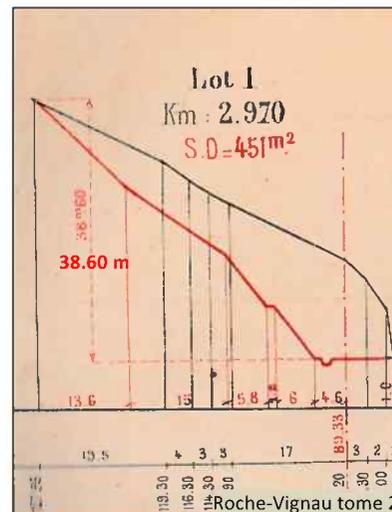
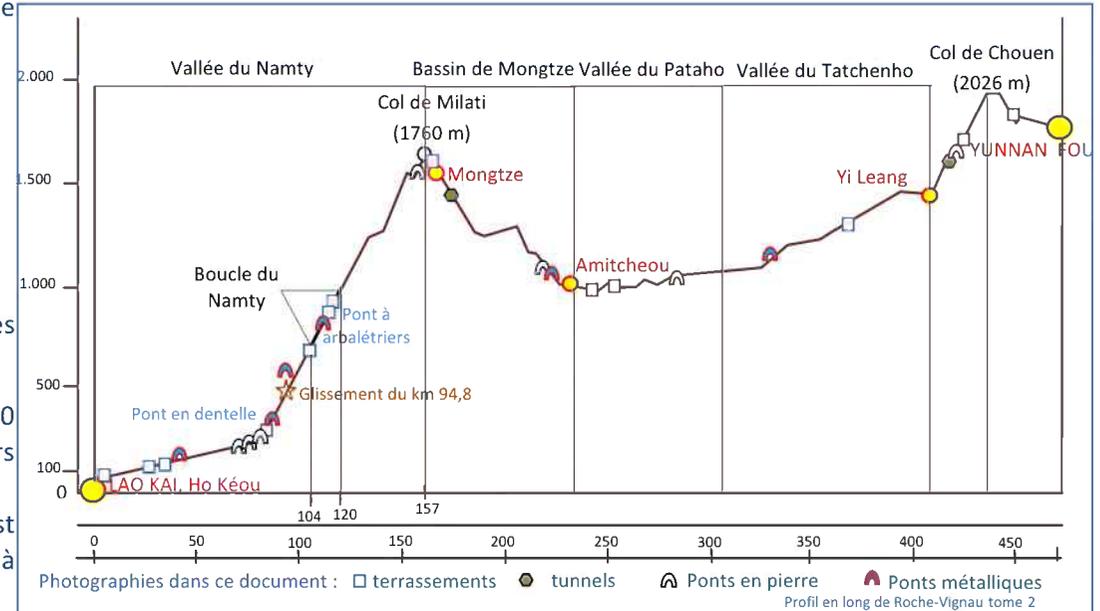
L'exécution de ces terrassements, y compris la correction des glissements représentera la difficulté majeure de réalisation de cette ligne.

L'abondance de la documentation dans l'ouvrage de 1910 permet, exceptionnellement, de détailler les terrassements.

Les travaux le long de la vallée du Namty.

La difficulté des travaux est ainsi décrite ainsi :

« A la vallée du Namty, depuis son origine jusqu'au col de Milati, et surtout jusqu'au km 130, correspond la partie de la ligne du Yunnan dont la construction s'est heurtée aux difficultés de toutes sortes les plus considérables ».



Travaux au début de la ligne (Photographie au km 2). Les sols sont des gneiss plus ou moins décomposés en argiles raides rouges à forte pente naturelle.

Chemin de fer du Yunnan. Terrassements ²

De plus, les conditions climatiques très difficiles affectent ce site: « *tandis que règne dans le haut pays un climat doux et salubre, la vallée du Namty, profondément encaissée, sauvage et déserte, présente les caractéristiques du climat tropical doux dans ce qu'il a de plus pénible et de plus malsain* ». Les travaux y seront particulièrement meurtriers : 10.000 coolies y décéderont, sur les 12.000 victimes le long du chantier, ainsi que 80 cadres de l'entreprise.

Sur les 38 premiers km, les formations sont très diverses : terres rouges de décomposition du gneiss, gneiss compact et roches cristallines dures.

En juin 1907, au km 38,5, le remblai sur mur de soutènement se rompt sous le poids d'une locomotive qui chute d'une hauteur de 15 m dans le Namty.

Une longue tranchée (km 41-42) dans des gneiss schisteux, instable, appelle la mise en place d'un masque drainant (pente de 3/2) et d'éperons drainants, solutions qui sont fréquemment retenues.

Une tranchée longue de 3 km (km 65-68) dans des schistes noirs est taillée à la verticale sur une hauteur de 40 m.

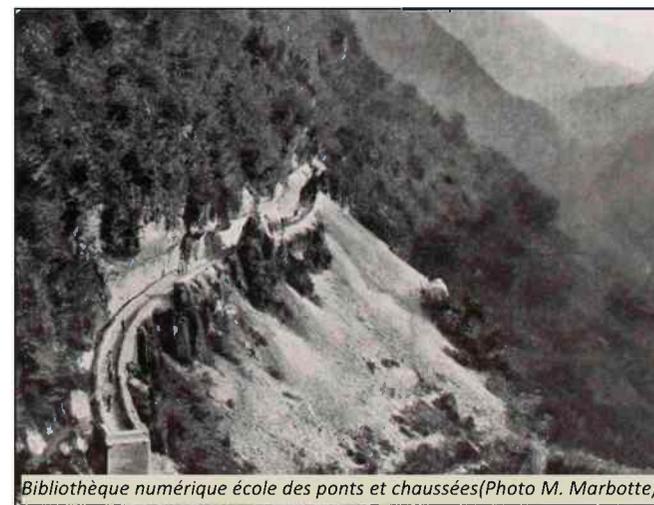
Un glissement important de profil mixte au km 94,8 entraîne l'interruption des travaux (cf fiche jointe)

Le franchissement des éperons rocheux et des rivières se fera par des nombreux ouvrages d'art. Par exemple 19 tunnels seront creusés entre les km 95,5 et 104.

A ce km 104 s'amorce la « boucle du Namty » (16 km) sur les deux flancs de la rivière Pei-Ho (Faux Namty), dans un site extrêmement accidenté comportant de nombreux tunnels et viaducs (cf fiche jointe)

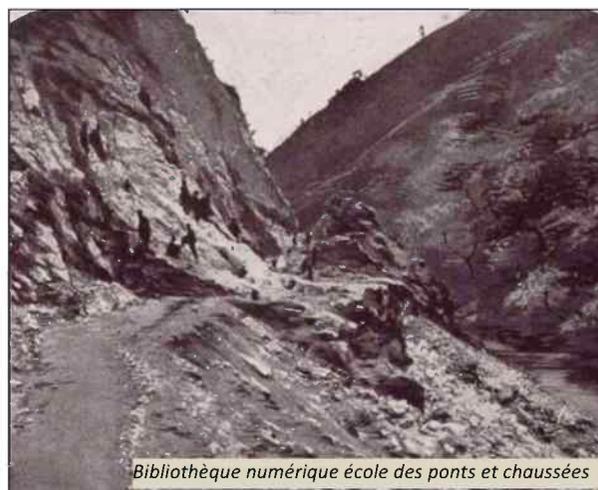
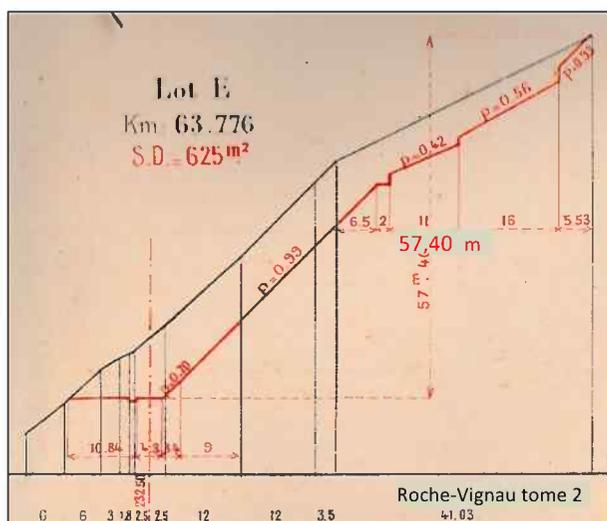
Au km 114,4 l'adoucissement de la pente du talus de déblai développe ce talus sur 130 m de haut.

Jusqu'au col de Milati (1760 m), le terrain est très accidenté et la voie passe parfois en encorbellement.



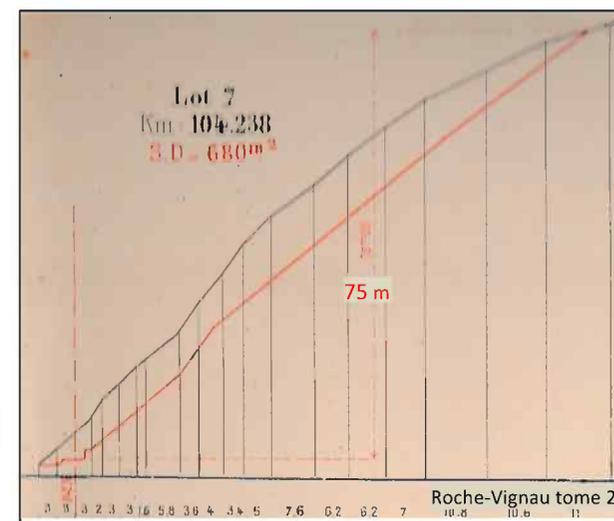
Bibliothèque numérique école des ponts et chaussées (Photo M. Marbotte)

Voie en encorbellement dans des calcaires durs Km 119
Culée d'ouvrage d'art



Bibliothèque numérique école des ponts et chaussées

Tranchée rocheuse eu cours le long du Namty Km 32



Ligne de chemin de fer du Yunnan. Terrassements³, glissement au km 94,8

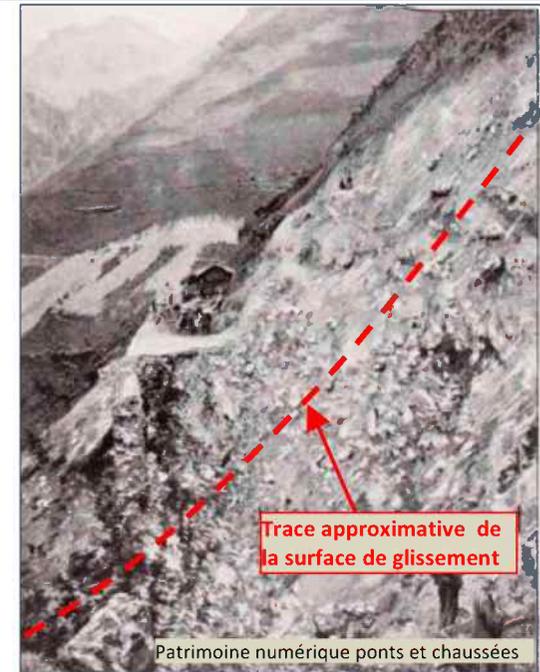
Le glissement du PK 94,8

Le long de la ligne, dans la zone du km 94, le terrain comporte de nombreux versants constitués d'éboulis en limite de stabilité : plusieurs mouvements d'ampleur limitée avaient dû y être maîtrisés.

Au Pk 94,8, la plateforme était en profil mixte avec un mur en soutènement de 10 m de hauteur à l'aval. Le mur avait été construit en 1905 et avait passé sans dommage les saisons des pluies de 1906 et 1907. Avant la saison des pluies de 1908, de légers mouvements dans le mur amenaient à déplacer la ligne davantage en déblai. C'est alors que se produit un vaste glissement emportant le versant et la plateforme jusqu'à la rivière, 200 m en contrebas, sur 120 m de largeur. Cet incident grave compromettait la pose des voies à 3 km de là.

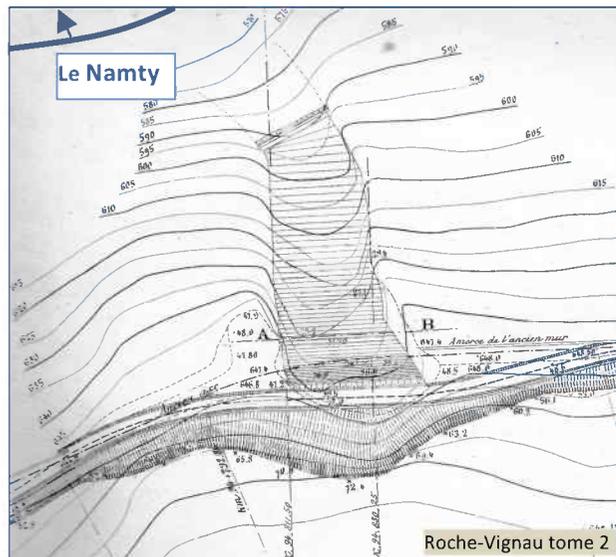
Une solution de secours consistant à placer la ligne en tunnel fut abandonnée au motif de coûts et de délais. En attendant de réaliser un confortement définitif la solution provisoire adoptée comprenait la pose d'un pont métallique lancé de 50 m de long, solution risquée à cause de la stabilité douteuse des appuis sur la plateforme endommagée, et du manque de place pour les opérations de lancement. Un glissement secondaire a d'ailleurs endommagé cet ouvrage.

Avec un axe de la voie décalé, le confortement définitif comporte un grand mur de pied à la base du glissement, à partir duquel est monté un talus en pierres à 1/1, de 60,7 m de haut. Il est recouvert d'un perré maçonné de 0,5 m d'épaisseur (et plus), renforcé par des ancrages sous forme de groupes de rails ancrés et bétonnés.

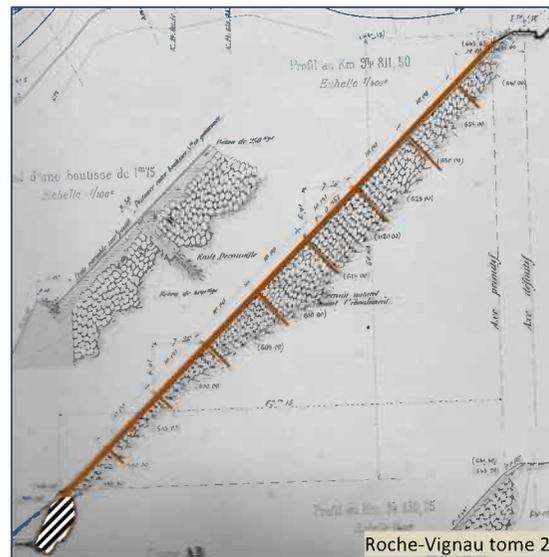


Trace approximative de la surface de glissement

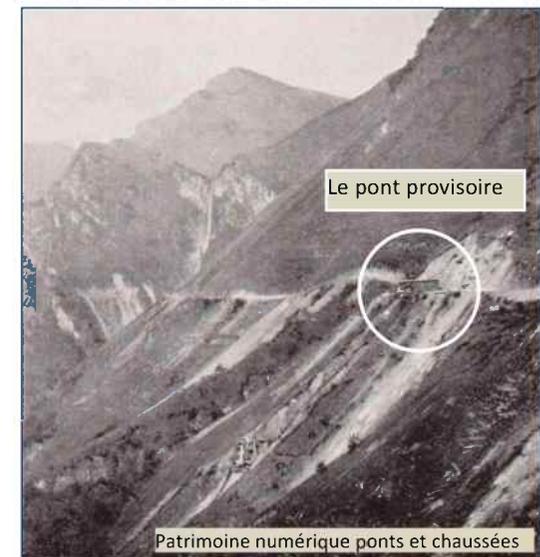
Patrimoine numérique ponts et chaussées



Vue en plan du glissement



Coupe du confortement définitif



Le pont provisoire

Patrimoine numérique ponts et chaussées

Le pont de la solution provisoire.

Chemin de fer du Yunnan. Terrassements⁴. La Boucle du Nam-ty

La ligne longe la vallée du Nam-ty jusqu'au km 104, où elle rencontre la vallée du Pei-Ho (dit aussi le Faux-Nam-ty), à partir de laquelle se déroule la boucle du Nam-ty, jusqu'à rejoindre le tracé de la ligne au km 119,5. Sa gorge, large au confluent, présente des falaises de 200-300 m de haut, mais elle va en se rétrécissant vers l'amont. La ligne emprunte les deux flancs de la vallée, en se retournant au km 111,85, sur le pont à arbalétriers.

Elle entre dans cette vallée à l'altitude 838 m elle en sort à 1145m. Ainsi la boucle permet de gagner 307m d'altitude sur un tracé de 15,5 km.

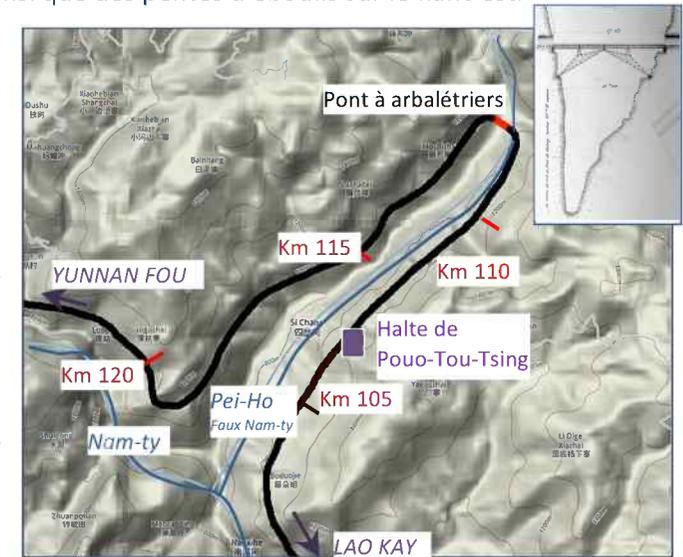
Les matériaux rencontrés sont des grès sur le flanc ouest, puis des gneiss, des schistes lustrés, des argiles, ainsi que des pentes d'éboulis sur le flanc est.

Les tranchées de déblais sont taillées à 3/2 dans des formations peu stables. Cela conduit à de très hauts talus de déblais : au km 104,1, une tranchée de 16 m dans l'axe se développe jusqu'à 120 m au dessus de la plateforme. Au km 114,4, une tranchée de 18 m de haut trouve sa crête à 130 m au delà.

Dans les thalwegs, de hauts murs de soutènement supportant la ligne ont été construits : au km 106,4 l'axe de remblai est entre 24 et 32 m au dessus du terrain naturel.

La ligne passe sur de nombreux ponts et viaducs, soit en pierre (viaduc de 5x5 m au km 117,3 par exemple), soit en métal, avec deux ouvrages modulaires de 8 m de portée élémentaire (3x8 m au km 117,4 et 5x8m au km 119,4), ainsi que le célèbre pont à arbalétriers qui surmonte la rivière de 100 m. Placé juste entre deux tunnels qui percent de hautes falaises de 300 m de haut, il présente une portée de 67,15 m

De nombreux tunnels ont été percés. Sur le versant est, il y a 16 ouvrages sur une longueur de 1.950 m. Sur le versant ouest, il y a 15 tunnels sur une longueur de 7,75 km.



La vallée du Faux Namty et la bouche du chemin de fer



Terrassements et mur de soutènement au km 114,5



Terrassements au km 116

Chemin de fer du Yunnan. Terrassements ⁵

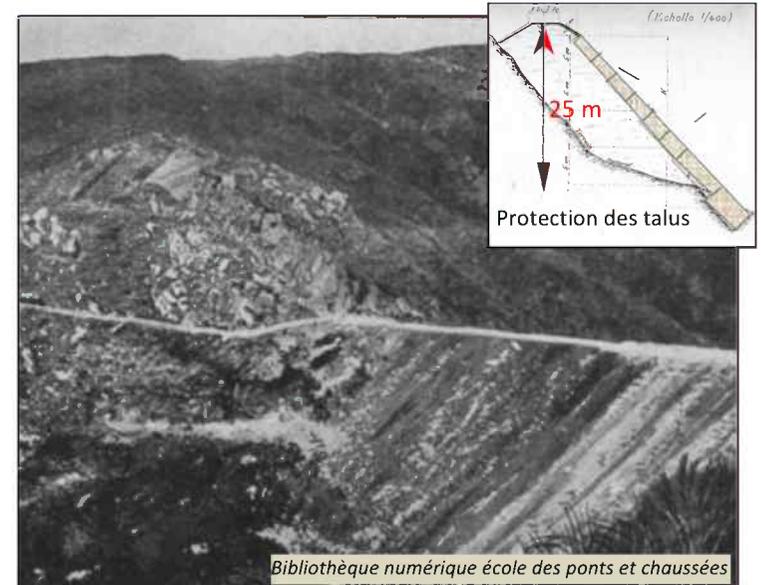
Bassins de Mong-Tsé et d'Amitcheou, Vallée du Pa-Ta-Ho (km 157 à 303)

Nota : les conditions sanitaires sont beaucoup moins défavorables ici que dans la vallée du Namty

A la sortie d'un tunnel de 316 m de long qui franchit le col de Mitali, la ligne rencontre des marnes argileuses qui supportent de hauts remblais (25 m dans l'axe avec un talus aval de 40 m, sur 100 m de long au km 158,6) ; puis de forts risques de glissements en tranchée argileuse ont conduit à adopter un franchissement local en tunnel. Viennent ensuite des formations calcaires dans lesquelles les talus de 15 à 17 m de haut sont taillés presque à la verticale.

La descente vers le bassin d'Amitcheou se poursuit avec nombre de tunnels (17), de grands viaducs en pierre et en métal et de hauts remblais (15-17 m).

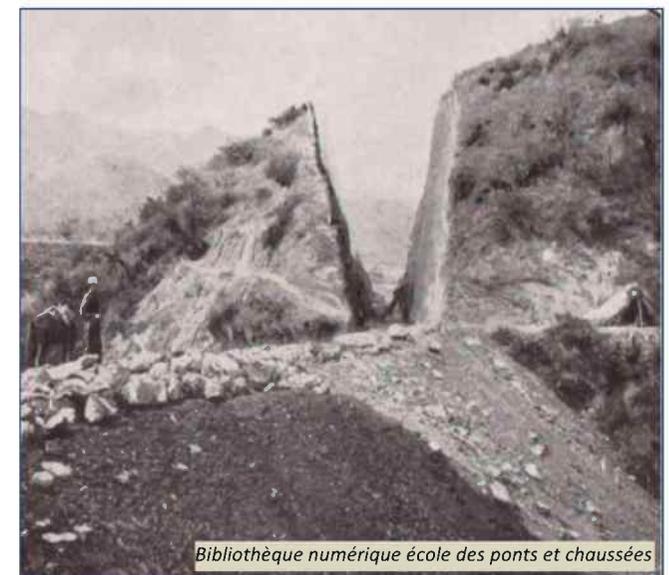
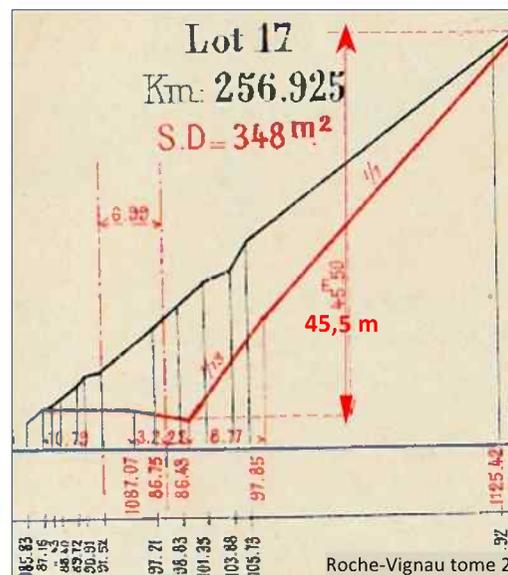
La rivière Pata-Ho présente une déclivité moindre que celle de la rivière Namty, mais elle est très sinueuse. Ainsi, la ligne y est supportée par de hauts remblais (15 m de haut entre les km 205 et 213). Par ailleurs, la rencontre de matériaux rocheux autorise de fortes pentes de talus de déblai (exemple : 1/1 aux km 243,9 et 256,9, et talus sub-vertical au km 266,8).



Remblai 25 m de haut en cours de construction. Km 158.6



Grande tranchée au km 243,9



Tranchée à talus sub-verticaux au km 266,8.

Chemin de fer du Yunnan. Terrassements ⁶

Vallée du Tachen-Ho, accès au col de Chouen-Tang et à la ville de Yunnan-fou (km 303 à 465).

La vallée du Tachen-Ho est sinueuse et ses versants à la stabilité douteuse présentent des schistes, des marnes et des grès sur une dizaine de km : ainsi, à l'origine de cette section, un glissement de 40.000m³ a nécessité un an de travaux pour être stabilisé.

La proximité érosive de la rivière ainsi que la tenue problématique des pentes appelle de nombreuses adaptations : murs de soutènement de pied, déplacement du tracé, tunnels supplémentaires.

Les zones de matériau rocheux n'ont pas posé de problème, hormis un glissement de dalle structurale.

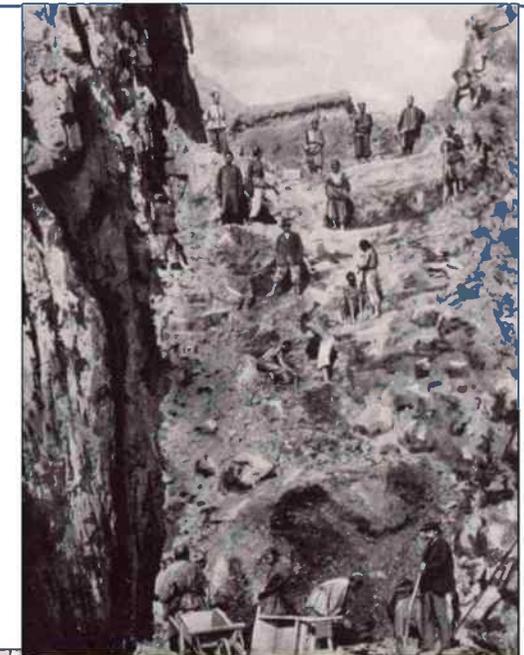
D'autre part, un tremblement de terre (1909) a sérieusement affecté la région sur 100 km : chute de blocs, aqueducs et murs détruits, bâtiments et tympans d'ouvrages détériorés.

La montée vers Yi-lang à flanc de vallée oblige à d'importants terrassements par exemple au km 368.

A partir de Yi-lang, la montée au col de Chouen Tang a obligé à de grands travaux : tunnels, ripage de l'axe, terrassements rocheux (voir la photographie au km 416, avec les moyens de terrassement du moment).

La descente de ce col jusqu'à Yunnan Fou rencontre des zones sensiblement planes qui ont permis la réalisation de longues sections en remblai et l'accès à la station de première classe de Yunnan Fou se déroule sans difficultés.

Nota : en Avril 1908, en raison de difficultés financières, la faillite fut prononcée, mais les travaux se poursuivirent



Bibliothèque numérique école des ponts et chaussées

Tranchée en cours km 416



Bibliothèque numérique école des ponts et chaussées

La vallée du Tachen-Ho



Bibliothèque numérique école des ponts et chaussées

Chantier de terrassement au km 368,4



Bibliothèque numérique école des ponts et chaussées

Long remblai km 440

Chemin de fer du Yunnan. Tunnels

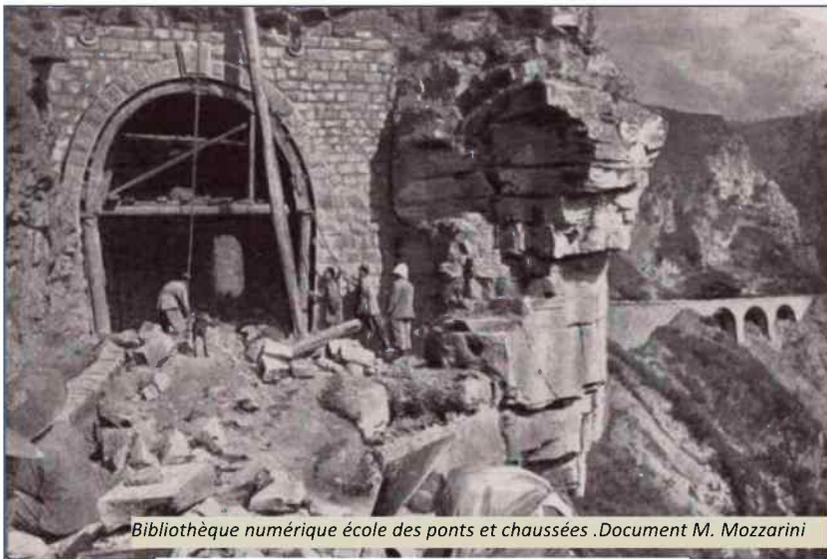
Ce sont 155 tunnels à voie unique qui ont été creusés tout le long de la ligne, tant à cause du relief du terrain (franchissements de contreforts, évitement de glissements de terrain, échappement aux érosions de rivières) que pour respecter les caractéristiques du tracé (rayon minimum de 100 m). Ils totalisent 17,5 km d'ouvrages, représentant 508.000 m³ de déblais et 100.700 m³ de revêtements.

Une typologie des sections a été établie en fonction de la nature des terrains et du type de revêtement. Pour l'une des formes de tunnel (ci-contre) les galeries mesurent 5 m de hauteur et 5 m de largeur en zone non revêtue, 4,20 m en zone revêtue.

Ce sont généralement des tunnels courts, autour de 100 à 200 mètres de long. L'ouvrage le plus long, 391 m, est celui du km 110,5.

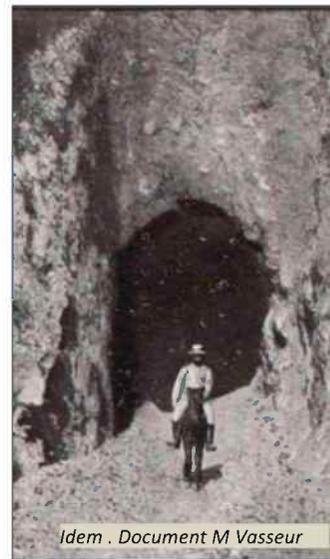
Le nombre de tunnels est particulièrement élevé sur la boucle du Faux Namty : 16 entre les km 104 et 111,1 et 15 entre les km 111,8 et 119,5.

De nombreuses difficultés ont dû être surmontées. La construction du tunnel de 113 m de long (km 122,4) dans des schistes décomposés a demandé 3 ans d'efforts. L'exécution du tunnel près du col de Mitali, de 316 m de long, dans des marnes argileuses avec infiltrations d'eau, a demandé 5 ans de travaux. Au km 334,8 une source à grand débit dans du calcaire a inondé le tunnel, et elle n'a été maîtrisée que par la réalisation d'une galerie de drainage.



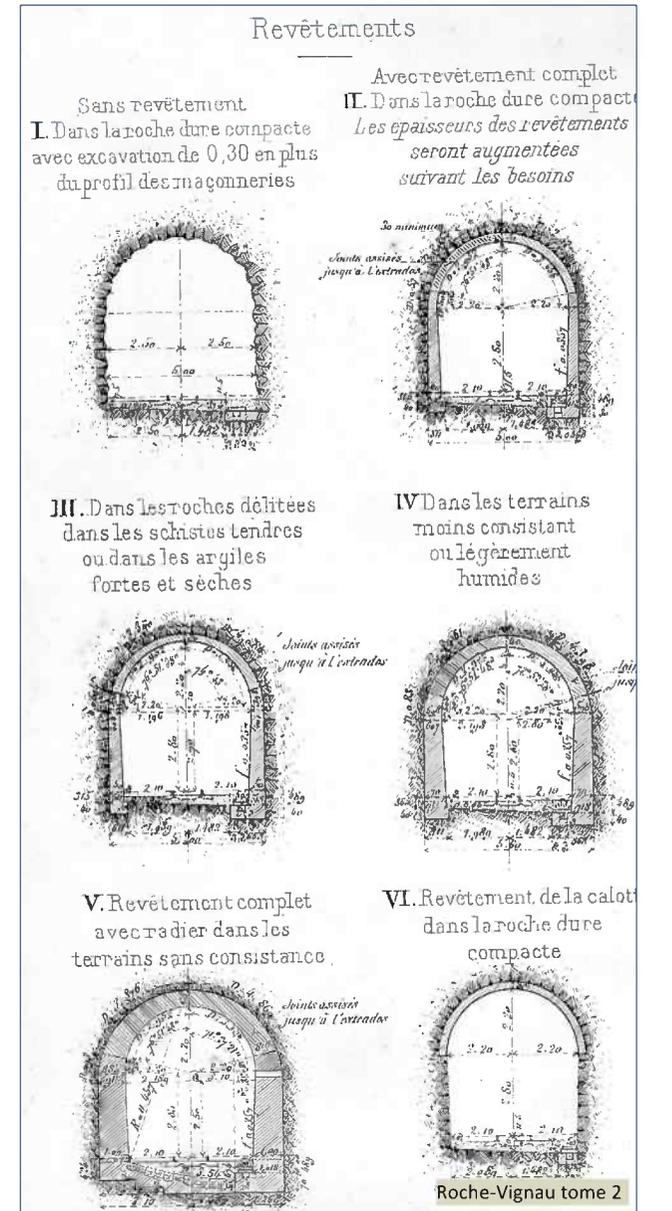
Bibliothèque numérique école des ponts et chaussées .Document M. Mozzarini

Construction du revêtement du tunnel au km 413



Idem . Document M Vasseur

Tunnel non revêtu au km 172



Chemin de fer du Yunnan. Ponts en pierre ¹

La Compagnie fait état de la construction de 3.422 ponts et aqueducs sur toute la ligne. Elle comprend 129 ouvrages de 3 à 8 m d'ouverture et 96 ouvrages de 10 m et plus d'ouverture.

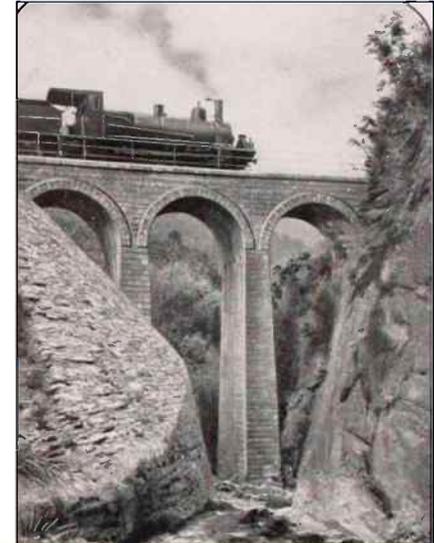
Les **ponts en pierre** sont les plus nombreux, avec 3 principaux types d'ouvrages voûtés, de 5 m, 10 m et 15 m d'ouverture. Les ponts à voûte unique sont nombreux. Par ailleurs, il y a au moins un viaduc à 10 arches de 5m, de nombreux viaducs de 2 à 7 arches de 10 m et plusieurs ouvrages comportent au moins une arche de 15m. Certains viaducs combinent des voûtes de diverses ouvertures : ainsi le franchissement d'un profond affluent du Namty au km 135 a nécessité la construction d'un viaduc comportant 4 voûtes de 5 m et 2 voûtes de 10 m avec des piles mesurant jusqu'à 26 m de haut. La ligne comporte également un pont-canal.

Les projets sont basés sur des plans-types s'appuyant sur des épures correspondantes de stabilité des voûtes et des piles.

Les matériaux employés sont surtout des pierres de bonne qualité rencontrées sur le tracé de la voie ferrée, excepté sur les 71 premiers km où il a fallu réaliser les ouvrages et les murs en béton de ciment (la qualité des briques produites était de médiocre qualité). Les liants utilisés comportent du ciment produit à Haïphong ainsi que de la chaux, également produite sur place, et des tuileaux locaux.

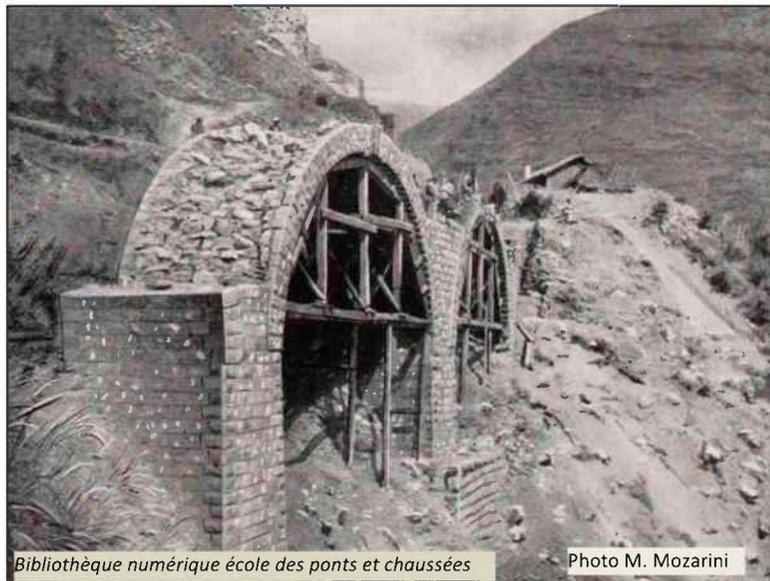
Les ponts et viaducs présentent des élévations en pierre taillée et appareillée, avec un remplissage constitué de maçonnerie de moellons, parfois aussi avec un remplissage à sec.

La construction des voûtes est réalisée sur des cintres métalliques ou des cintres à structure en bois.



Bibliothèque numérique école des ponts et chaussées

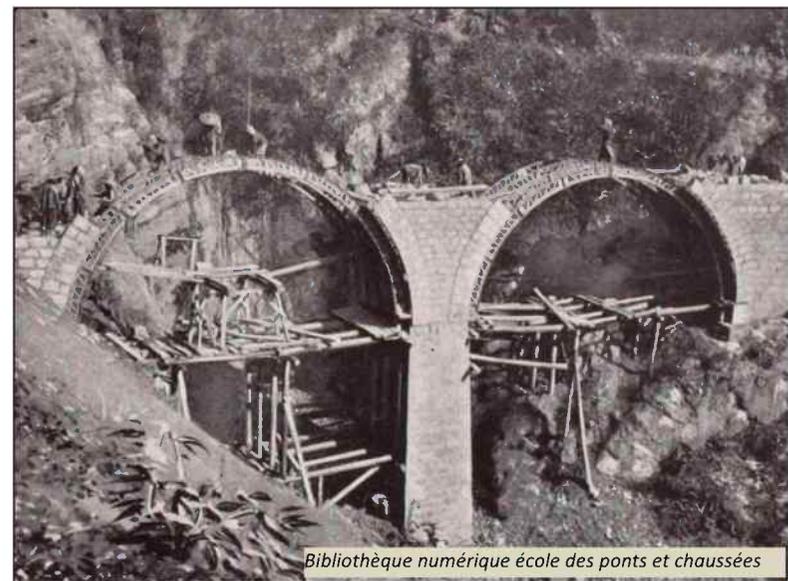
Viaduc en pierre à trois voûtes de 5 m au km 77



Bibliothèque numérique école des ponts et chaussées

Photo M. Mozarini

Viaduc en pierre à trois voûtes de 10 m en cours de construction au km 400



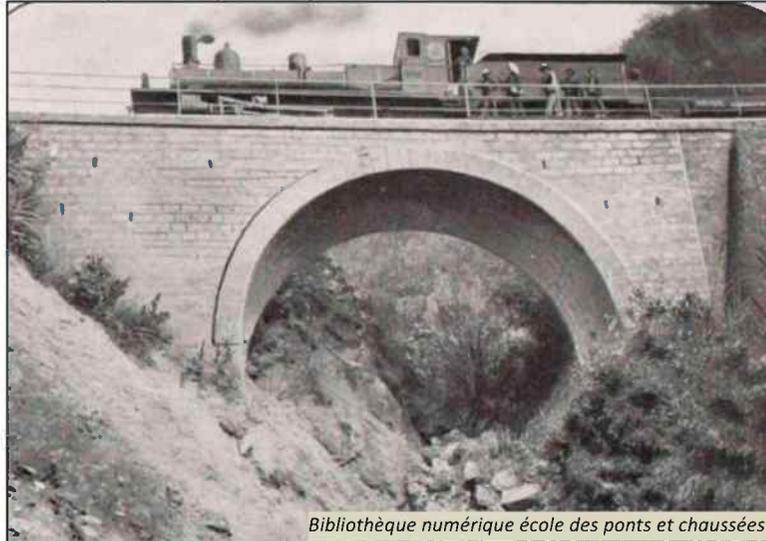
Bibliothèque numérique école des ponts et chaussées

Viaduc en pierre à deux voûtes de 10 m en cours de construction au km 87

Chemin de fer du Yunnan. Ponts en pierre²

Ponts en pierre de 10 m d'ouverture

Ces ouvrages sont présent sur près de 50 ouvrages, soit en voûte simple, soit en voûtes multiples (ci-dessous), ou en longs viaducs (ci contre), ainsi qu'avec des viaducs en métal.



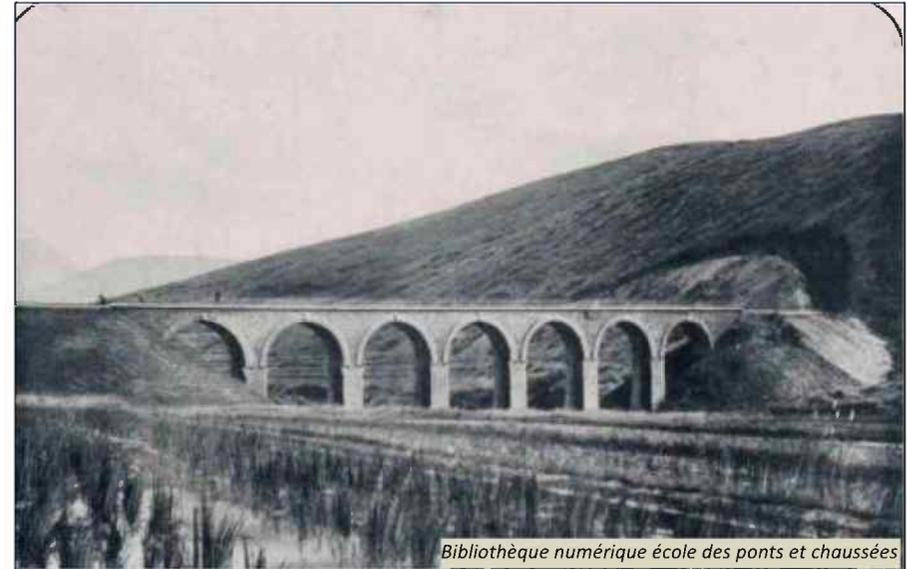
Bibliothèque numérique école des ponts et chaussées

Pont voûté de 10 m d'ouverture au km 85

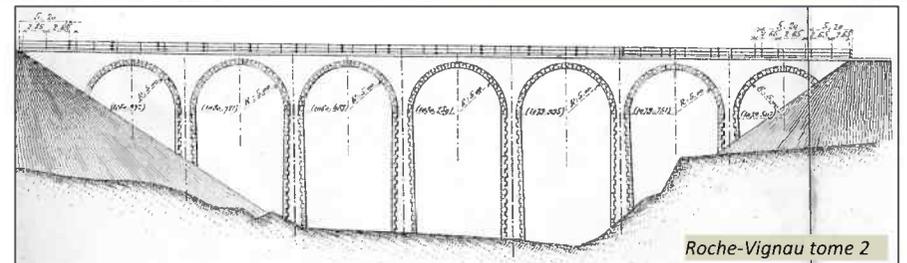


Bibliothèque numérique école des ponts et chaussées

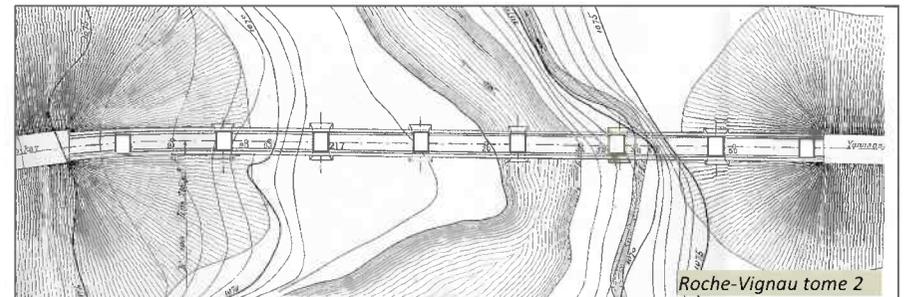
Viaduc en maçonnerie à trois voûtes de 10 m d'ouverture au km 418



Bibliothèque numérique école des ponts et chaussées



Roche-Vignau tome 2



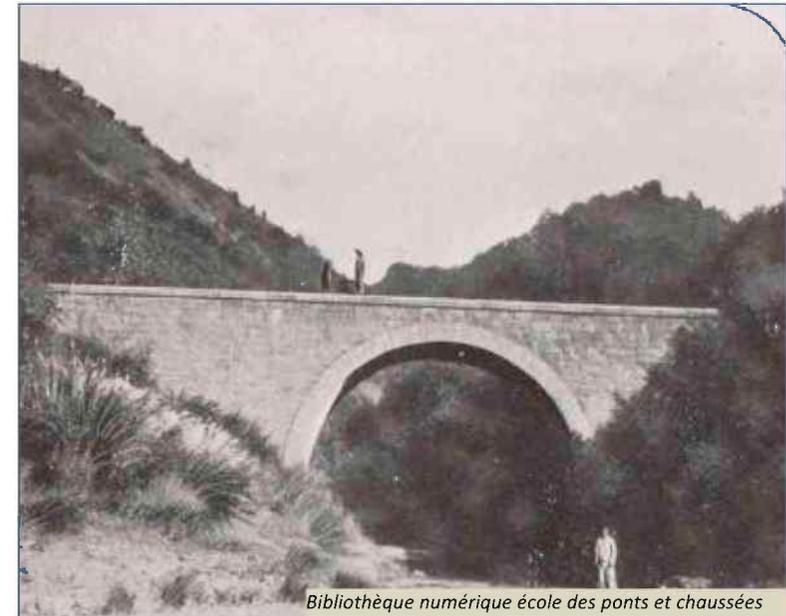
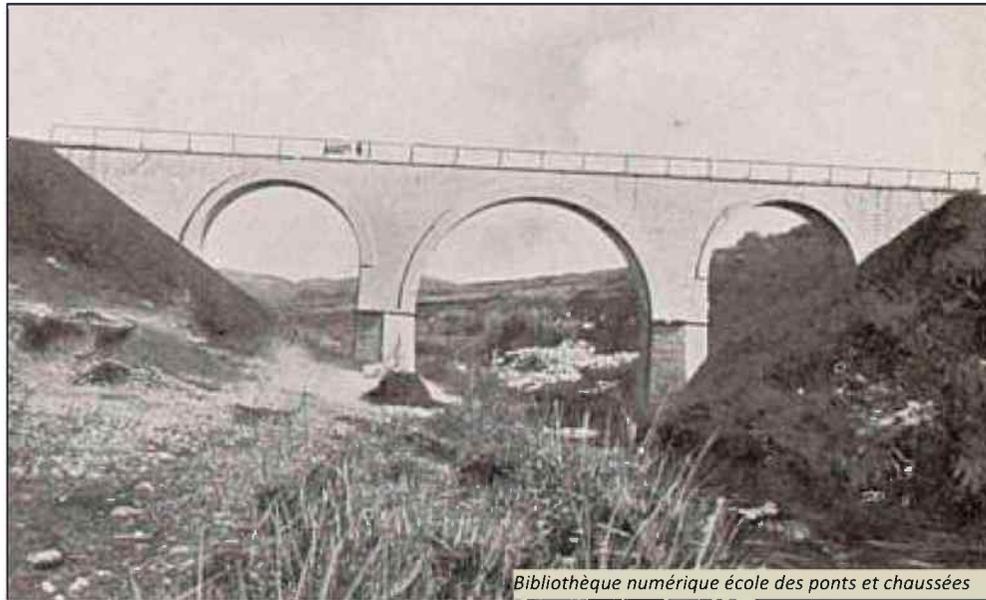
Roche-Vignau tome 2

Le plus long pont en maçonnerie de la ligne : 7 voûtes de 10 m au km 218 supportées par des piles mesurant jusqu'à 14 m de haut

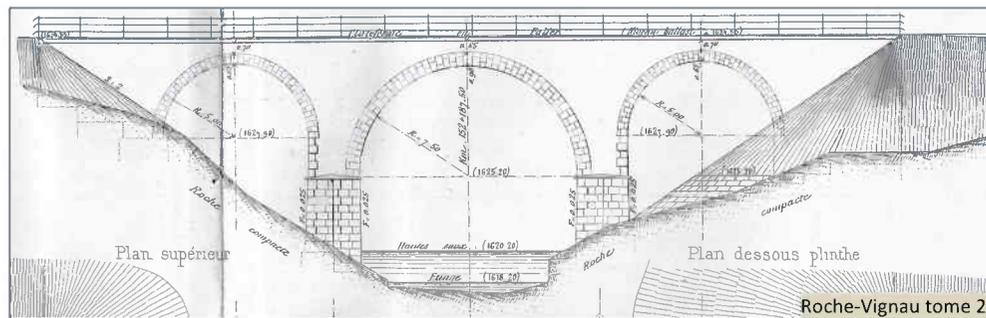
Chemin de fer du Yunnan. Ponts en pierre³

Ponts en pierre voûtés de 15 m d'ouverture.

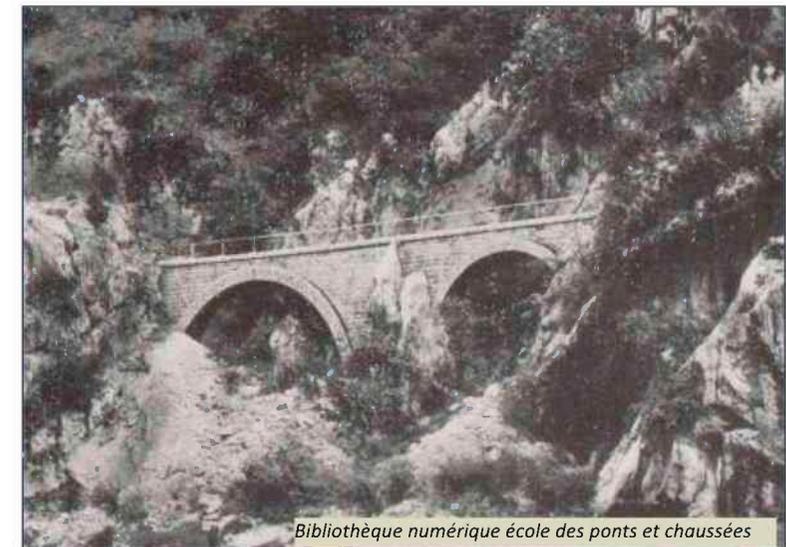
On trouve plus de 10 de ces ouvrages tout le long de la ligne, en voûte simple, ainsi qu'associés avec d'autres voûtes d'ouvertures différentes, l'ouvrage présentant ou non une symétrie en élévation.



Pont en pierre voûté de 15m d'ouverture au km 284,6



Viaduc en pierre à trois voûtes : 10 m, 15 m et 10 m d'ouverture au km 152

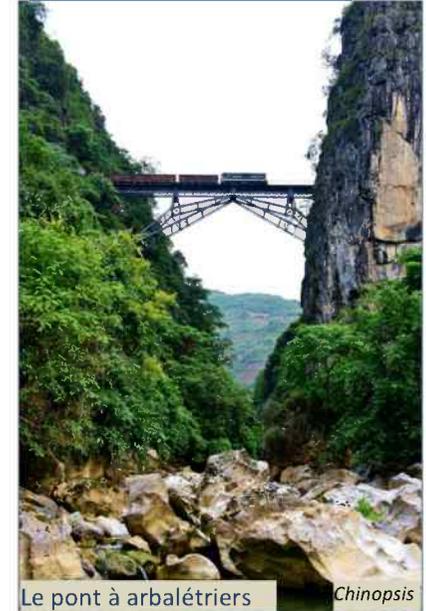


Viaduc en pierre à deux voûtes : 15m et 10 m d'ouverture au km 284,9

Chemin de fer du Yunnan. Ponts et viaducs métalliques¹

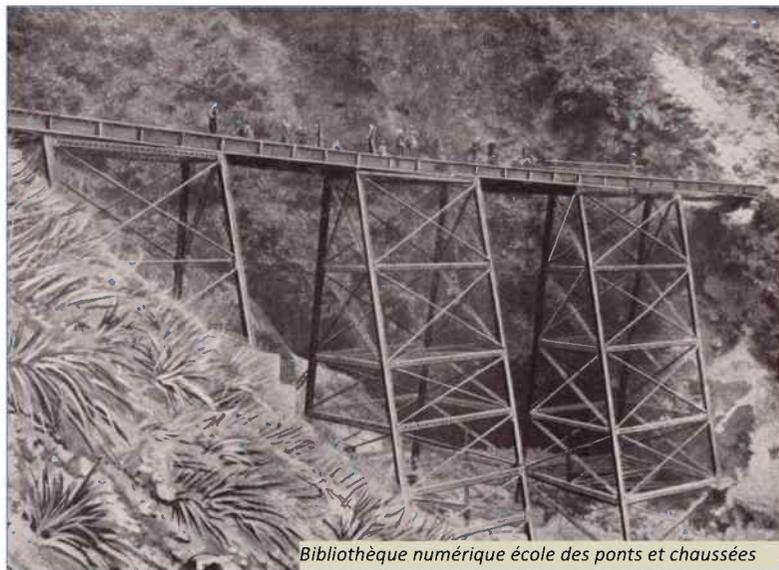
Pour le franchissement de rivières, de brèches aux talus pentus ou encaissés, la ligne emprunte des ouvrages métalliques de plusieurs types :

- Ponts à poutres en treillis métallique.
Deux types d'ouvrages ont été mis en place, pour des ouvertures de 30 m ou de 50 m, particulièrement pour le franchissement des rivières. La ligne comporte 11 ouvrages de ce type.
- Viaducs droits ou courbes à portées modulaire de 8 m de long.
Ce type de structure se prête particulièrement bien aux longs franchissements de vallées avec des hauteurs de piles variables, ainsi que pour les tracés en courbe. La construction est réalisée en place par montage d'éléments préfabriqués. Ce sont 8 ouvrages qui ont ainsi été réalisés, principalement dans le première partie de tracé
- Le célèbre pont à arbalétriers
Cet ouvrage unique, long de 67 m, franchit une gorge très étroite surmontant la rivière d'une centaine de mètres. Il est réalisé par l'assemblage sur place de deux poutres (les arbalétriers) formant arc à trois articulations.
- Ponts à poutres pleines continues
En très petit nombre, ils comportent une ou deux travées droites de 10 m d'ouverture.



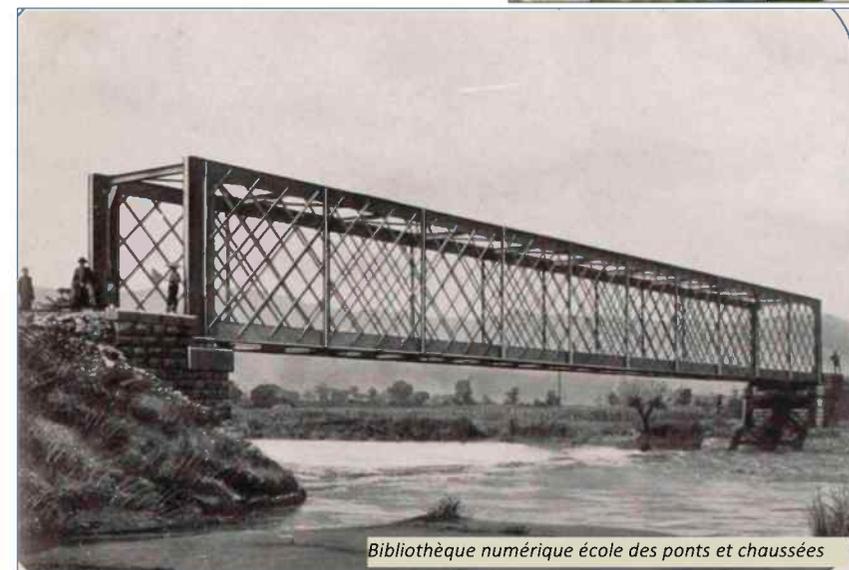
Le pont à arbalétriers

Chinopsis



Bibliothèque numérique école des ponts et chaussées

Viaduc à 6 modules de 8 m au km 95



Bibliothèque numérique école des ponts et chaussées

Pont à poutres latérales en treillis de 50 m de long au km 219,8

Chemin de fer du Yunnan. Ponts et viaducs métalliques²

Viaducs à travées au module de 8 m de long.

Ces viaducs originaux sont assemblés sur place à partir de barres métalliques pesant moins de 100 kg transportées par des mulets ou des groupes de coolies. Ils sont montés à l'avancement, le cas échéant en courbe, à l'aide de grues Pâris qui apportent les éléments métalliques aux monteurs de l'ouvrage.

Ils sont conçus pour le franchissement de vallées à versants pentus, avec des hauteurs de piles variables. Leur construction est plus rapide que celle des viaducs en pierre.

Ils comportent, alternativement, des travées de 8 m portées par les piles et des travées de 8 m appuyées sur les piles voisines.

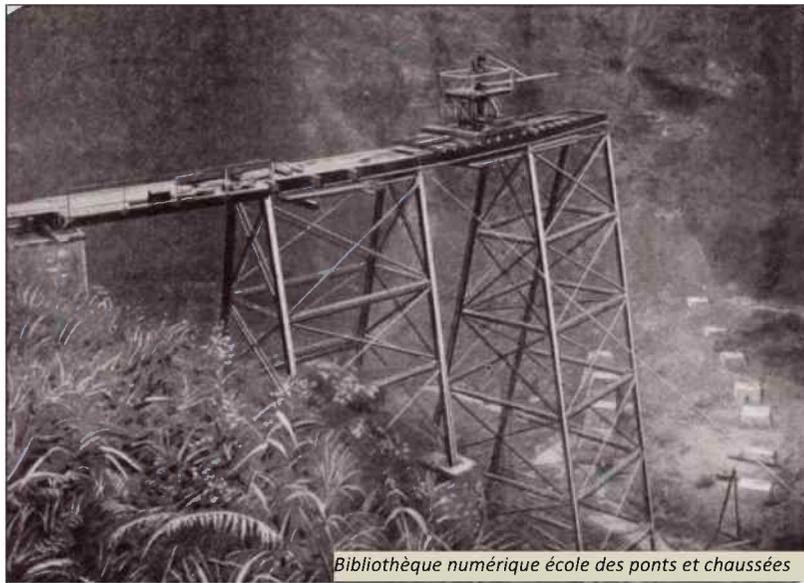
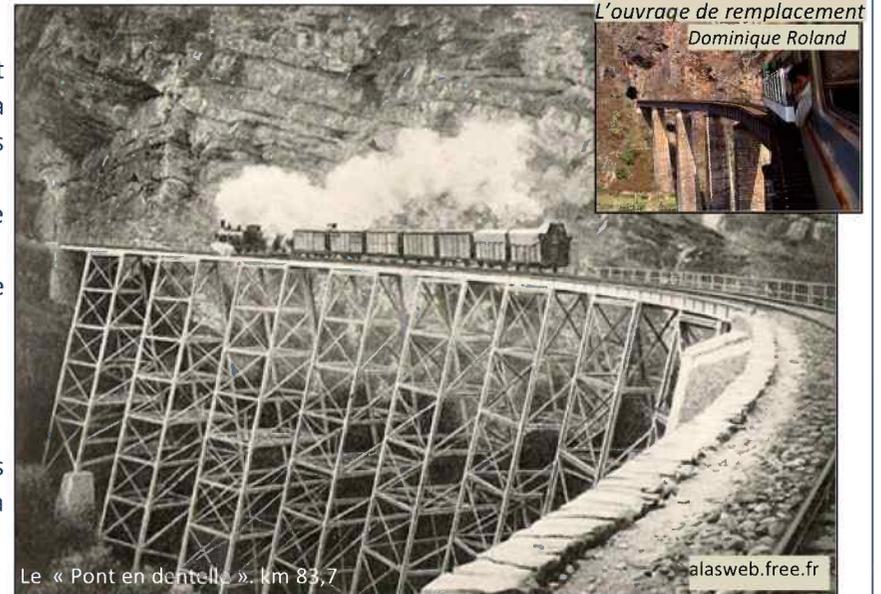
La conception des ouvrages à nx8 m est de Paul Bodin, ingénieur à la Sté des Batignolles.

Le « Pont en dentelles ».

C'est l'ouvrage emblématique de cette catégorie de viaduc.

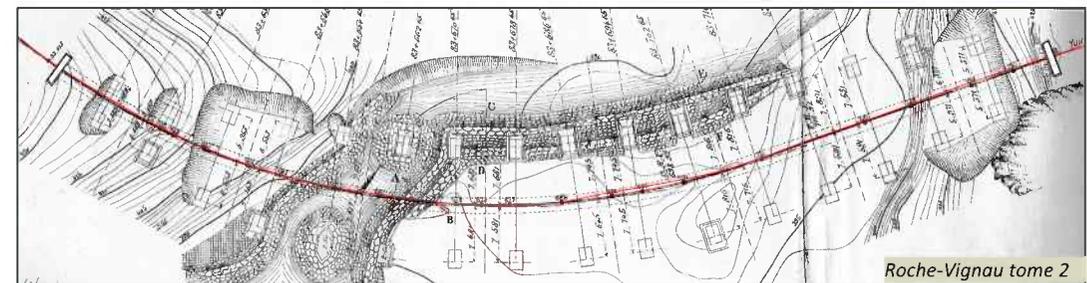
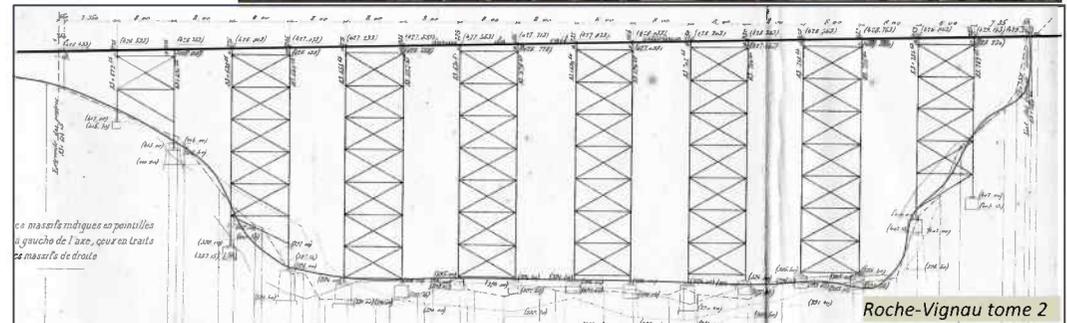
Entièrement en courbe, au km 83,7, il présente 15 travées de 8 m, avec des piles atteignant une hauteur maximale de 34 m. L'empattement transversal des appuis a nécessité l'aménagement de fondations dans le lit et sur les bords de la rivière.

Ce viaduc a été détruit lors de la guerre sino-japonaise, remplacé par un viaduc en béton.



Bibliothèque numérique école des ponts et chaussées

Construction des travées à l'aide de la grue de montage



Chemin de fer du Yunnan. Ponts et viaducs métalliques ³

Ponts à poutres latérales en treillis.

Le franchissement des principales rivières a fait appel à des ponts droits à poutres latérales en treillis.

Ces ouvrages permettent des ouvertures soit de 30 m soit de 50 m.

Ils offrent un gabarit de section utile de 4,25 m de largeur et 5,12m de hauteur, correspondant aux dimensions des convois ferroviaires.

Ils sont parfois associés à des ponts voutés en maçonnerie de 10 m d'ouverture (l'ouvrage ci contre, sur la rivière Ta-Tcheng-Ho, en est le plus bel exemple, avec deux fois 10m de part et d'autre).

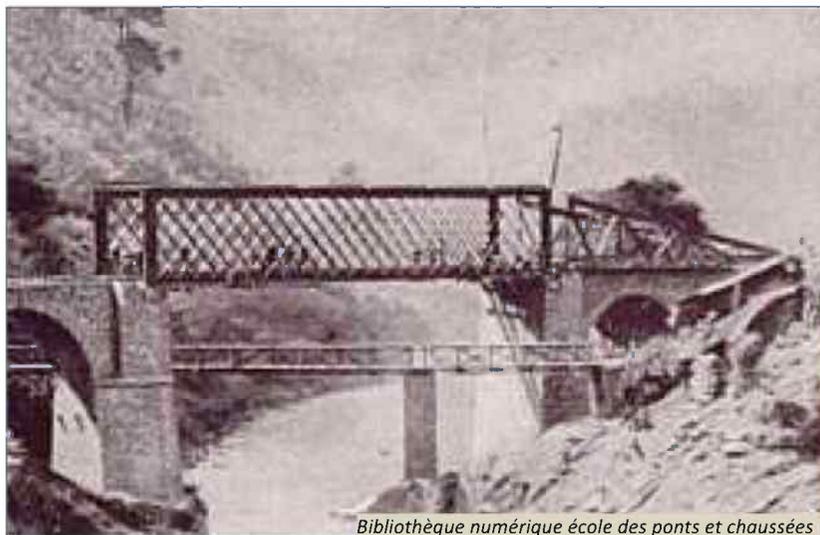
L'une des difficultés majeures concerne le montage de ces ponts: en effet le tracé sinueux de la ligne rend problématique le dégagement de la place nécessaire dans l'alignement de l'ouvrage, coté Lao Kay.

Ensuite les ponts sont mis en place par lançage. A cet effet, ils sont équipés, pour les ouvrages de 50 m, d'un avant-bec long de 25 m et d'un arrière-bec de même longueur.

Un tel tablier a été temporairement mis en place au droit du glissement de versant du km 94.8.

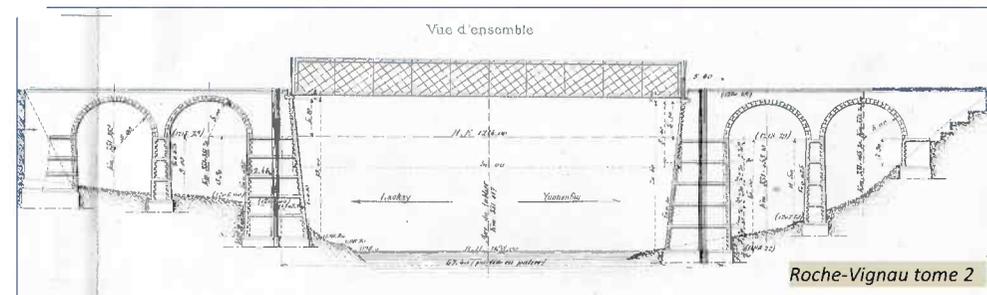


Bibliothèque numérique école des ponts et chaussées



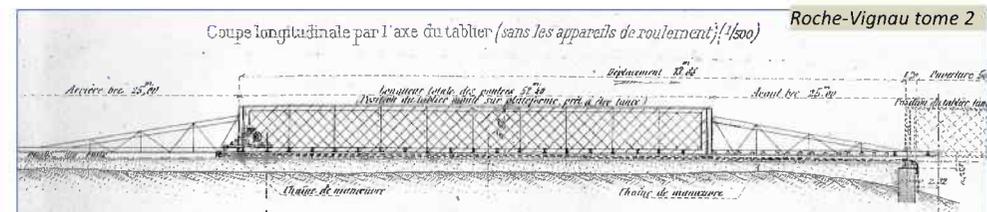
Bibliothèque numérique école des ponts et chaussées

Pont à ouverture de 30 m sur le Namti avec son avant bec de lancement. Km 45



Roche-Vignau tome 2

Pont de 50 m d'ouverture, avec 2x2 ouvrages en maçonnerie. Km 331,4



Roche-Vignau tome 2

Pont à ouverture de 50 m prêt au lançage, avec l'avant-bec et l'arrière-bec

Chemin de fer du Yunnan. Ponts et viaducs métalliques⁴

Le pont à arbalétriers (1908).

La ligne rencontre un affluent du Namty, le Pei-Ho, dit aussi faux-Namty, sur les versants duquel elle déroule une longue boucle, du km 104 au km 120. En extrémité de la boucle, le tracé est en tunnel des deux cotés de la vallée, avec des falaises à pic sur une centaine de mètres sous la ligne.

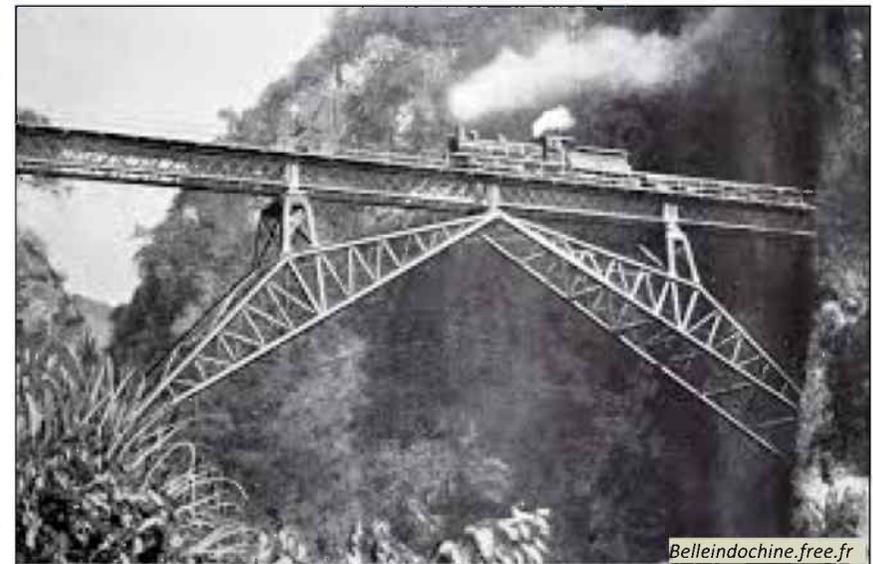
C'est le célèbre pont à arbalétriers qui franchit la rivière Pei-Ho entre ces deux tunnels. Il s'agit d'un ouvrage très exceptionnel du au talent de Paul Bodin, Ingénieur de l'Ecole Centrale, membre éminent de la Société de Construction des Batignolles.

Ce pont a été choisi à cause des gains de temps et d'argent apportés par rapport à d'autres types d'ouvrages.

Il présente la particularité de voir son tablier supporté par deux arbalétriers, poutres triangulaires, et deux pylônes en appui sur ces poutres. Les arbalétriers sont équipés de rotules sphériques au contact de la falaise et d'une rotule cylindrique au niveau du tablier. Le tablier mesure 67m de long et la distance entre les rotules est de 55m.

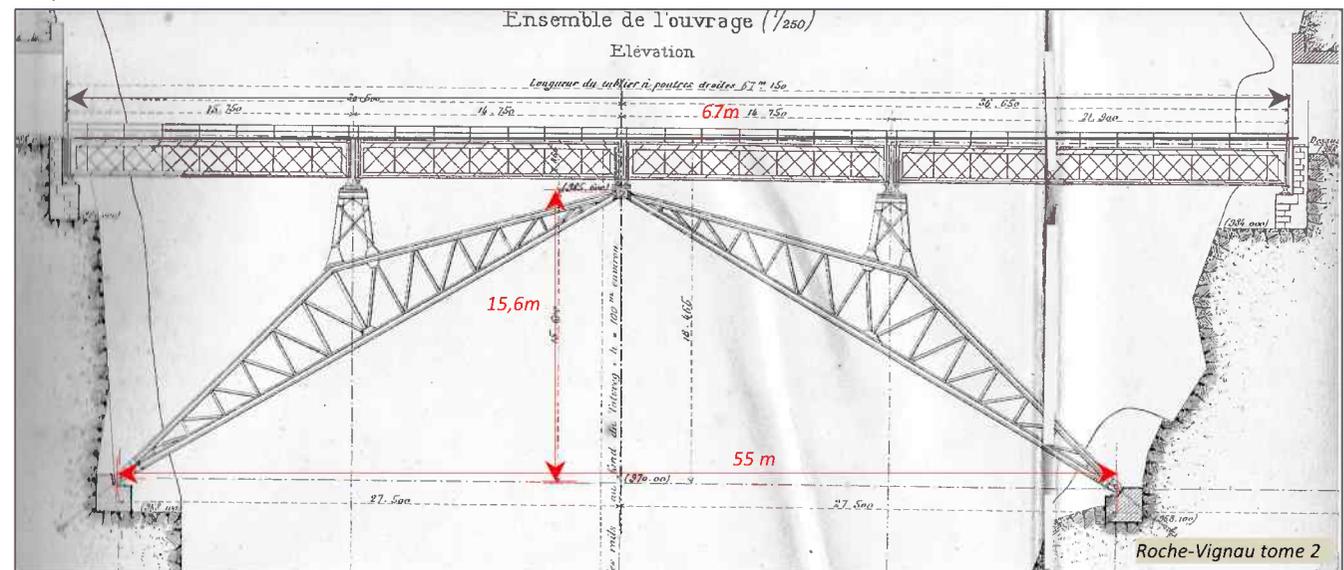
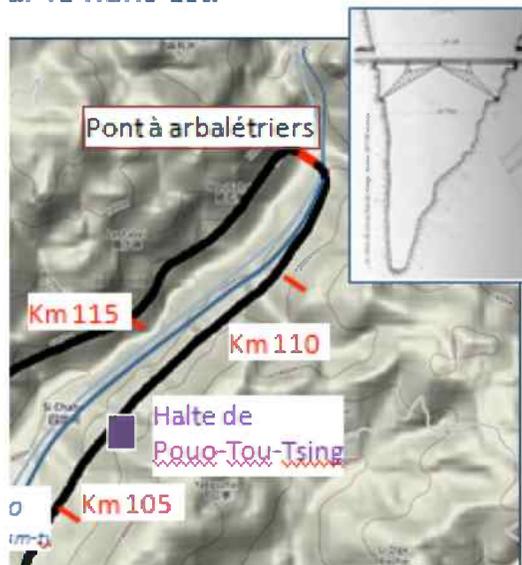
La procédure de construction et de mise en place de cet ouvrage sont à la hauteur de l'originalité de l'ouvrage.

L'ouvrage est inscrit au Patrimoine culturel historique de la Chine.



Vue du pont à arbalétriers sur le Pei-Ho. Km 111,883

Belleindochine.free.fr



Plan du pont en élévation

Chemin de fer du Yunnan. Ponts métalliques⁵

Mise en place du pont à arbalétriers.

Cette opération constitue l'une des actions techniques les plus remarquables du chantier, puisqu'elle consiste à relier deux sections de tunnel distantes de 77 m (Photo 1), au dessus d'un vide d'une centaine de mètres. La première mesure a été de consolider les parois rocheuses au droit de la zone des appuis, d'installer les appareils d'appui et de creuser les niches qui recevront les installations (câbles, treuils) pour la mise en place des arbalétriers. Ceux-ci sont construits sur place, en position verticale (photo 2). Ils sont alors lancés en rotation sur leurs rotules inférieures (photo 3), jusqu'à rencontre des extrémités supérieures et callés sur la rotule centrale (photo 4). Les tabliers sont alors mis en place par lançage à partir des galeries des tunnels, avec appui sur les pylônes intermédiaires (photo 5).



Géopolis.francetv.info.fr



Bibliothèque num école des ponts et chaussées



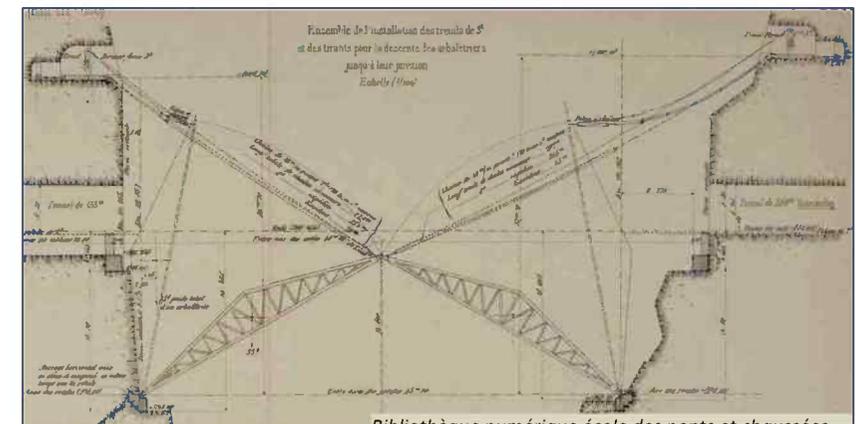
Bibliothèque numérique école des ponts et chaussées



Bibliothèque numérique école des ponts et chaussées



Bibliothèque numérique école des ponts et chaussées



Bibliothèque numérique école des ponts et chaussées

Ligne de chemin de fer du Yunnan. Bâtiments

De Ho-Kéou (début de la ligne en territoire chinois) à Yunnan-Fou, la ligne comporte 34 stations et haltes : la station de 1^{ère} classe, gare terminale de Yunnan-Fou, la station de 2^{ème} classe à Amitchéou, 6 stations de 3^{ème} classe et 24 haltes. L'importance en voies de croisements, installations techniques (y compris en ponts tournants), nombre de bâtiments dépend de la disposition des lieux et des rôles attribués à la station ou halte.



Gare de Yunnan-Fou : arrivée du premier train (30 janvier 1910)



La gare de Mongtze



La gare de Su-Kia-Tou



La halte de Choueï-Tang

Chine. Ligne de chemin de fer du Yunnan. Portraits ¹

La réalisation de la ligne de chemin de fer du Yunnan a mobilisé un très grand nombre d'intervenants. Diplomates, banquiers, ingénieurs des bureaux d'études et des entreprises, employés et ouvriers du chantier, etc. Ainsi 920 cadres et personnels techniques sont intervenus (400 simultanément), environ 1.000 conducteurs de chantier (généralement italiens), et 75.000 ouvriers et coolies (48.000 simultanément au maximum).

Auguste François

Avec le général Su
(1902)



Diplomate français (1857-1935). Entre autres, Consul général de France à Yunnan-Fu. Négociateur de la convention franco-chinoise du chemin de fer du Yunnan

Paul Bodin



Ingénieur de l'Ecole Centrale de Paris (1847-1926). Ingénieur et administrateur à la Société de Construction des Batignolles. Concepteur du pont à arbalétriers, du viaduc du Viaur en France etc.

Comte Georges Vitali



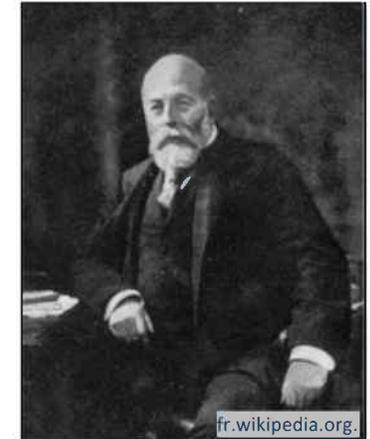
Ingénieur de l'Ecole Centrale de Paris (1830-1909). Créateur de la Régie Générale des Chemins de fer. Président du Conseil d'Administration des Chemins de fer indochinois

Albert Marie



Ingénieur à la Société de Construction des Batignolles. Auteur de ponts métalliques du chemin de fer du Yunnan auquel il a contribué.

Jules Göüin



Ingénieur de l'Ecole Centrale de Paris (1846-1908). Pt de la Société de Construction des Batignolles. Pt de la Compagnie française des chemins de fer de l'Indochine et du Yunnan.

Georges-Auguste Marbotte

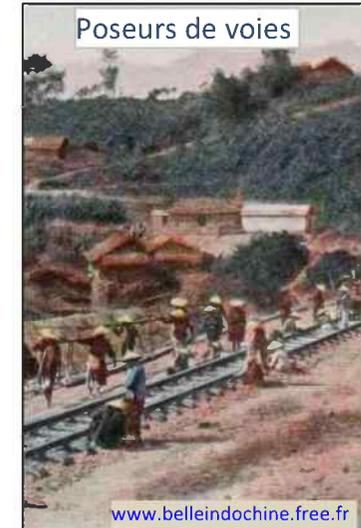
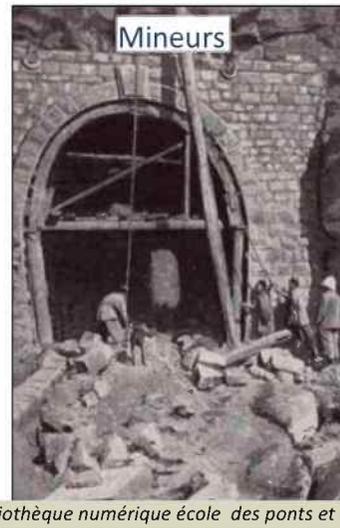
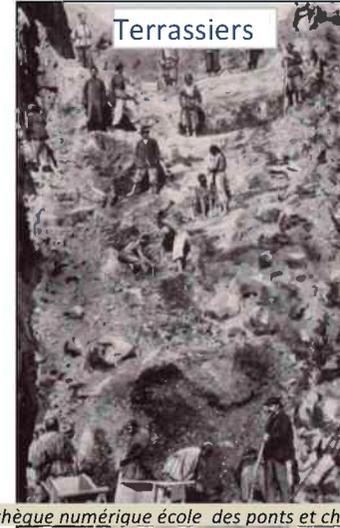
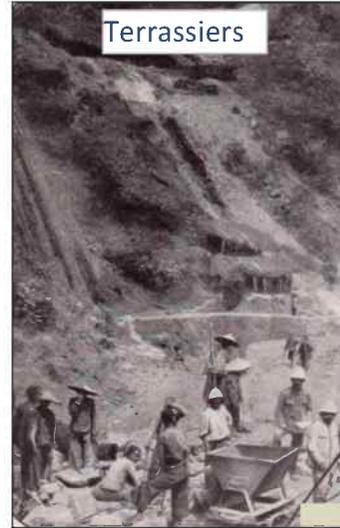


Comptable sur le Chemin de fer du Yunnan, ses talents de photographe le conduisirent à produire une énorme collection de remarquables clichés du chantier

Chine. Ligne de chemin de fer du Yunnan. Portraits²

Les travaux de construction de la ligne furent réalisés dans des conditions climatiques et sanitaires particulièrement sévères. 80 cadres et personnels techniques y perdirent la vie. Mais les principales victimes furent les ouvriers et les coolies, provenant de diverses régions de Chine et d'Indochine : porteurs, terrassiers, maçons, mineurs, tailleurs de pierre, monteurs, poseurs de voies, etc.

Ce sont 12.000 ouvriers et coolies qui périrent sur ce chantier (paludisme, dysenterie, affections internes, accidents) dont 10.000 dans le seul Bas-Namty.



Ligne de chemin de fer du Yunnan. En guise de conclusion...

Le trafic sur la ligne de chemin de fer du Yunnan

A partir de 1910, un trafic régulier de trains de voyageurs et de trains de marchandises s'est installé entre Yunnan-Fu et Haïphong via Lao-Kai à la frontière de l'Indochine. Le succès technique de la réalisation de la ligne en Chine ne connu ni le trafic prévu ni la situation financière escomptée. D'une part, la révolution chinoise apporta des troubles au Yunnan, d'autre part l'exploitation des richesses naturelles repérées par les missions exploratoires se révéla très inférieure aux prévisions : évaluations incertaines, gisements antérieurement exploités et épuisés, qualité du charbon inadaptée. La production et le transport de l'étain constitueront la ressource minière principale : en 1937, à la veille du conflit sino-japonais, 9.500 t pour un transit Yunnan-Haïphong de 13.500 t (le trafic Haïphong-Yunnan s'élevait à 32.000 t). La même année, 214.000 passagers utilisèrent l'ensemble de la ligne, plus de 4 millions effectuant des trajets partiels.

Dès le début du conflit sino-japonais, les troupes du gouvernement nationaliste refluèrent vers le sud : dès 1938, la ligne du Yunnan fut pratiquement leur seule voie d'approvisionnement au départ du port d'Haïphong, se traduisant par la sursaturation de la ligne. La suite du conflit conduisit à l'interruption du trafic, notamment par la destruction d'ouvrages d'art (Le pont en dentelle).

Après 1949, la ligne fut remise en état par les autorités chinoises. Néanmoins, le trafic se réduisit constamment, entraînant la suppression du trafic voyageur, puis une réduction drastique du trafic de marchandises. Aujourd'hui, il ne subsiste qu'un trafic de marchandises partiel.

Mémoire de la ligne ferroviaire du Yunnan

En Chine une forte mémoire demeure attachée à cette ligne, avec ses ouvrages d'art, dont le pont à arbalétriers, et ses gares, reproductions des gares de la même époque en France. De nombreuses restaurations conservent du caractère à cette ligne.

Kunming abrite le **Musée de la ligne ferroviaire du Yunnan**, avec une présentation très scénique, comprenant des motrices et wagons d'origine, des équipements et des expositions.

Le **Musée de Kunming** a présenté une exposition concernant Albert Marie, ingénieur à la Société des Batignolles, l'un des responsables du chantier.

Le **Musée Guimet**, à Paris, a présenté en 2015 l'exposition « Un train pour le Yunnan », comportant 65 des 1.500 photos du legs de la collection G.A. Marbotte



Kunming. Musée de la ligne ferroviaire du Yunnan



° Extrait de TFI, 4 juin 2016. Reportage. L'incroyable train français du Yunnan
Musée de Kunming. Exposition « Albert Marie »

Ligne de chemin de fer du Yunnan. Références ¹

23

Reportage

L'incroyable train français du Yunnan. Odile Bernard Elisabeth Locard. TF1 4 juin 2016

Livres

1910. Compagnie française des chemins de fer de l'Indochine et du Yunnan (France); Société de construction des chemins de fer indo-chinois (France).

Le chemin de fer du Yunnan. Tome 1. Texte. Tome 2 dessins. Imprimerie G. Goury (Paris).

Les deux tomes sont numérisés et disponibles sur : « Bibliothèque numérique patrimoniale des ponts et chaussées »

Auguste François. *Le mandarin blanc. Souvenirs d'un consul en Extrême-Orient* (1886-1904). 380p. 2006. Editions L'Harmatan. Paris

Pierre Marbotte. *Un chemin de fer au Yunnan : l'aventure d'une famille française en Chine.* 158p. 2006. Collection Alain Sutton

Désirée Lenoir. *Le consul qui en savait trop, les ambitions secrètes de la France en Chine.* 2011. Editions Nouveau Monde

Odile Bernard, Elisabeth Locard, Pierre Marbotte. *Le chemin de fer du Yunnan, une aventure française en Chine.* 288 pages 2016. Eltis

Odile Bernard, Elisabeth Locard. *Le chemin de fer du Yunnan. Un jeune ingénieur français en route de Saïgon à Yléang* (1904). Images et mémoires J&M. Bulletin N° 37 (Aussi sur www.imagesetmemoires.com)

Rang-Ri Park-Barjot. *La Société de construction des Batignolles : des origines à la première guerre mondiale -1846-1914*. Paris, Pups, 2005

Sites web

Structurae.

Site majeur pour les images et les données sur les ouvrages.

www.guimet.fr Musée Guimet. *Un train pour le Yunnan. 1500 clichés de la collection Georges Auguste Marbotte.* 2015

www.belleindochine.fr *Le chemin de fer du Yunnan*

Ligne de chemin de fer du Yunnan. Références ²

http://cctv.cntv.cn/lm/Lesaviezvous/serie/Le_train_venu_de_1910/ *Le train venu de 1910 4 séries d'images sur le chemin de fer du Yunnan*

<http://french.peopledaily.com.cn/VieSociale/n/2015/0408/c31360-8875381-23.html> *Série d'images autour du chemin de fer du Yunnan*

<https://rhcf.revues.org/418> *la civilisation suit la locomotive : crédo de Paul Doumer.*

<http://www.souvenir-francais.asie.com/> *Le nouveau musée du chemin de fer du Yunnan à Kunming (Yvan Velot)*

<http://chinopsis.canalblog.com/> *4 séries d'images sur le chemin de fer du Yunnan*

www.fleuverouge.fr *Clichés de Georges Auguste Marbotte.*

www.archives-histoire.centraliens.net *Jean-Louis Bordes . Le chemin de fer du Yunnan et les Centraliens*

augfrancois.chez-alice.fr *Association Auguste François. Films et vidéo*

www.alasweb.free.fr *Le train du Yunnan. Un voyage dans le temps*

www.net1901.org *Association Blanche et Auguste Marbotte*

<http://jo-association.info/v2/84410/20070049> *-Association Blanche et Auguste Marbotte.php*

www.monnuage.fr *Alex et Gag : le mur des neuf dragons*

[// commons.wikimedia.org](http://commons.wikimedia.org) *La première gare de Pékin*

www.delcampe.net *Cartes postales*