

Université de Zagreb
FACULTE DE PHILOSOPHIE ET LETTRES
Département d'études romanes
UFR Langue et lettres françaises

Terminologie et normalisation dans le procès de la traduction :

Les ponts

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES
MASTER EN LANGUE ET LETTRES FRANÇAISES
FILIÈRE TRADUCTION

responsable de la formation:

dr. sc. Ivana Franić

présenté par:

Ivna Jelavić

Septembre 2015

TABLE DES MATIERES

1. Introduction.....	4
2. Terminologie	5
2.1. Définition de la terminologie.....	5
2.2. Histoire de la terminologie.....	6
2.3. Terminologie, sémantique et lexicographie.....	7
2.4. Professionnels de la terminologie.....	8
2.5. Langue générale et langue de spécialité.....	8
2.6. Notion ou concept.....	9
2.7. Terme.....	9
2.8. Définition terminologique.....	10
2.9. Recherches terminologiques.....	11
2.10.Objectifs de la terminologie.....	11
3. Normalisation.....	12
3.1. Les organisations de normalisation	13
3.1.1. Les organisations internationales de normalisation.....	13
3.1.2. Les organisations régionales de normalisation.....	14
3.1.3. Les organismes de normalisation nationaux.....	15
3.2. La normalisation du vocabulaire spécialisé.....	16
4. Présentation du domaine : génie civil.....	17
5. Méthodologie du travail.....	18
5.1. Domaine.....	18
5.2. Corpus.....	18
5.3. Glossaire.....	19
5.4. Fiche terminologique.....	19

6. Traduction.....	21
7. Glossaire.....	41
8. Fiches terminologiques.....	46
9. Analyse de la traduction.....	65
10. Conclusion.....	68
11. Bibliographie.....	69
12. Sitographie.....	70
ANNEXE	
A Le texte original : Ponts.....	74
B Renseignements de base sur les structures.....	98
C Le viaduc de Milau.....	105

1. INTRODUCTION

Grâce à la globalisation et au développement des sciences et des technologies nouvelles, on affronte aujourd'hui un vaste besoin des traductions de bonne qualité. Mais pour traduire un texte technique, il ne suffit pas d'avoir une bonne connaissance des langues. Quand le traducteur est en situation de traduire un texte avec un vocabulaire hautement spécialisé, il doit consacrer une bonne partie de son temps à se familiariser avec le domaine concerné afin de comprendre le texte de départ et trouver des équivalents dans la langue d'arrivée. Le traducteur doit savoir s'adapter aux besoins du destinataire et savoir maîtriser tous les outils qui lui permettront d'arriver à une traduction qui obtiendrait son but principal: l'efficacité de communication. Dans ce travail nous allons essayer de présenter le rôle de la terminologie et de la normalisation dans ce procès.

La première partie du travail propose une introduction théorique sur la terminologie et la normalisation. Dans la deuxième partie, nous allons offrir la traduction croate de l'article *Ponts* de *l'Encyclopædia Universalis*. Ce texte explique d'une façon scientifique l'histoire, la classification et la construction des ponts. Ensuite, nous allons établir un glossaire avec des termes pertinents de ce domaine et vingt fiches terminologiques pour vingt termes.

Après avoir élaboré le glossaire et les fiches terminologiques, nous allons faire une analyse de la traduction dans laquelle nous allons essayer de comparer le niveau de normalisation des vocabulaires spécialisés du français et du croate dans le domaine du génie civil et voir comment la normalisation et les recherches terminologiques influencent la qualité de la traduction.

2. TERMINOLOGIE

«Toute activité, technique, manuelle ou conceptuelle, se dote de termes spécifiques, mots empruntés au langage commun, ou construits de toutes pièces. En maths aussi. Cela est nécessaire dès que l'on veut être précis, efficace, opératoire. Un cours de maths est un cours de langue! Eh oui, en maths, on exprime des idées! Par la parole, par l'écriture. On veut dire des choses et on œuvre pour les dire de la façon la plus précise et la plus rigoureuse possible.»¹

La terminologie connaît une longue tradition d'application car l'homme a toujours eu besoin de dénommer la réalité qui l'entourait et d'établir des liens entre les différents concepts.² Cependant, la langue n'est pas une entité figée. Le monde change et le vocabulaire évolue. Le développement accéléré de la science, la multiplication des techniques et des innovations au cours des dernières décennies ont apporté un vaste besoin des termes pour étiqueter ces réalités nouvelles. C'est là que la terminologie s'est démontrée indispensable.

2.1. Définition de la terminologie

Comme la terminologie est devenue une discipline reconnue grâce à son importance pour la traduction scientifique ou technique, plusieurs terminologues en ont donné des définitions différentes. «La terminologie est la discipline ou science qui étudie les termes, leur formation, leurs emplois, leurs significations, leur évolution, leurs rapports à l'univers perçu ou conçu. Une (chaque) terminologie est un ensemble de désignations (termes) dont le champ d'utilisation (l'extension) est délimité ou, au moins, limité et spécifique. La délimitation peut être arbitraire. Les terminologies (ensembles de termes d'extension commune) constituent l'objet de la terminologie (science ou

¹Guedj, D., interview par Biais, J.-M., consulté sur:

http://www.lexpress.fr/informations/rendons-les-mathematiques-aimables_640643.html

² www.initerm.net/.../Cours_Master_7_terminologie.doc

discipline).»³ On pourrait aussi décrire la terminologie comme une discipline linguistique qui permet de repérer systématiquement, d'analyser et, au besoin, de créer et de normaliser le vocabulaire pour une technique donnée, dans une situation concrète de fonctionnement, de façon à répondre aux besoins d'expression de l'utilisateur.⁴

Le mot *terminologie* s'est dit aussi d'un ensemble des termes propres à une activité ou à une discipline, donc, on parle de la terminologie de la médecine, de la chimie, de l'architecture etc. La terminologie s'occupe des vocabulaires techniques et des langues spécialisées qui sont utilisées par les spécialistes pour communiquer sans ambiguïté dans leur domaine d'activité particulier.

Elle désigne aussi les méthodes propres au travail terminologique : les méthodes de collecte et de classement des termes, de normalisation des termes et de leur diffusion, ou en bref l'ensemble d'activités qui conduisent à l'élaboration de dictionnaires spécialisés.

Enfin, il convient d'attacher une importance particulière à la terminologie bilingue et multilingue pour la comparaison interlangue des notions qui permet de déterminer l'équivalence ou la correspondance des termes de manière à faciliter et à accélérer la communication tout en assurant sa qualité.

2.2. Histoire de la terminologie

La terminologie n'est pas une discipline nouvelle. On peut retracer ses origines jusqu'à l'antiquité grecque. Mais l'établissement de la terminologie moderne en tant qu'une discipline d'étude est né au vingtième siècle. Selon Maria Teresa Cabré⁵ on peut distinguer quatre étapes du développement de la terminologie : les origines, la structuration, l'éclatement et de larges horizons. La première étape, de 1930 à 1960, est marquée par les travaux d'Eugen Wüster de Vienne, l'auteur de la *Théorie Générale de la Terminologie*. Il est considéré le père de la terminologie et de la standardisation de la terminologie. L'étape de la structuration, de 1960 à 1975, a été marquée par les premières

3 Gouadec, D. *Terminologie : Constitution de données*, AFNOR, Paris, 1990, consulté sur http://www.gouadec.net/publications/Terminologie_ConstitutionDonnees.pdf

4 Dubuc, R. *Manuel pratique de terminologie*, 2002, p. 4

5 Cabré, M. T. *La terminologie. Théorie, méthode et applications*, Les Presses de l'Université d'Ottawa, Canada, 1998

banques de données terminologiques. Dans l'étape de l'éclatement, de 1975 à 1985, elle est devenue l'instrument de modernisation de la langue. La dernière étape a connu l'augmentation des instruments des terminologues. La terminologie a commencé à jouer un rôle qui est devenu de plus en plus important grâce à la création de réseaux internationaux qui portaient à une coopération internationale.

La terminologie est aussi entrée dans le monde universitaire en tant que discipline autonome où elle était au début généralement liée aux études de traduction. Elle y est enseignée jusqu'au niveau du doctorat.

2.3. Terminologie, sémantique et lexicographie

Pour mieux comprendre la notion de terminologie, il convient de la comparer avec ses disciplines sœurs: sémantique et lexicographie.

La sémantique est l'étude générale des relations entre les signes linguistiques et leurs référents et c'est pour cette raison que la sémantique comporte une dimension diachronique. La terminologie cherche à répondre au besoin d'expression des usagers et elle n'a que incidemment recours à la diachronie. On pourrait dire qu'elle est synchronique. «La sémantique et la terminologie se distinguent par leur nature et leur objet. La sémantique est une discipline intralinguistique puisqu'elle se réfère à la langue envisagée comme système. La terminologie est une discipline extralinguistique puisqu'elle se réfère d'abord à la situation de communication. De ce fait, elle travaille toujours dans l'optique de la langue de spécialité, envisagée non plus comme système, mais comme moyen de communication.»⁶ Sur le plan de l'objet, il y a aussi une différence entre ces deux disciplines: les deux étudient les relations entre signes et référents, mais sous un angle différent. La sémantique étudie ces relations en structurant ou en expliquant le rapport signe/référent tandis que la terminologie retient surtout la relation onomasiologique; à partir du référent, elle cherche le signe linguistique désignatif.⁷

⁶ Dubuc, R. *Manuel pratique de terminologie*, 2002, p. 25

⁷ Ibidem

La lexicographie et la terminologie se distinguent par leur finalité. Contrairement à la terminologie qui est onomasiologique, la lexicographie est sémasiologique, c'est-à-dire qu'elle va du signe à la notion. La terminologie est ordonnée à des fonctions d'expression et de communication et l'utilisateur du produit terminologique n'est pas nécessairement à la recherche d'une définition, mais d'une appellation. Il a besoin de moyens pour encoder son message. Mais l'utilisateur du produit lexicographique n'a pas le même besoin. Il a besoin des outils pour comprendre, pour connaître le sens inconnu d'un mot connu et ainsi la lexicographie a une fonction de décodage.⁸

2.4. Professionnels de la terminologie

Les terminologues et les terminographes sont les spécialistes en terminologie. Un terminologue est le spécialiste de la terminologie théorique qui développe et illustre la terminologie en tant que discipline au moyen des analyses des différentes terminologies et qui propose des modèles et des méthodes pour la terminographie. Un terminographe est collecteur, organisateur, et utilisateur des vocabulaires spécialisés. Il rédige des dictionnaires ou crée des banques de données.

2.5. Langue générale et langue de spécialité

On pourrait dire que les langues de spécialité se distinguent de la langue générale par leurs situations d'utilisation et par le type d'information qu'elles véhiculent.⁹ Dans la vie quotidienne on se sert de la langue générale, tandis que la langue de spécialité est utilisée par les spécialistes pour communiquer sans ambiguïté dans leur domaine d'activité particulier. Chaque langue de spécialité fait partie intégrante de la langue générale mais a son répertoire des termes utilisés, c'est-à-dire un vocabulaire spécialisé qui lui est propre et dont la caractéristique principale est la monosémie. Plus le degré de spécialité d'une langue se réduit, la monosémie peut être moins respectée et cette langue présente plus de caractéristiques propres à la langue générale, notamment au niveau sémantique. C'est par exemple le cas des spécialités dont le vocabulaire n'a pas fait

⁸ Idem, p.27

⁹ http://theses.univ-lyon2.fr/documents/getpart.php?id=lyon2.2002.carras_c&part=53684

l'objet d'une normalisation et par conséquent un même concept peut avoir plusieurs dénominations, suivant les auteurs ou suivant les courants de pensée.¹⁰

2.6. Notion ou concept

La terminologie est une discipline linguistique qui étudie les concepts spécialisés et les termes qui les désignent en langue de spécialité.¹¹ On peut voir qu'il faut d'abord avoir un concept qu'on désigne ensuite par un terme. Mais comment décrit-on un concept? Le concept est une unité structurée de pensée par laquelle nous appréhendons le monde. Le concept se compose de caractères, unités élémentaires de pensée.¹² Ces caractères permettent de différencier ou rapprocher les différents concepts et de déterminer leur place dans la hiérarchie d'un domaine donné.¹³ Même si le terme de *notion* est moins opératoire et désigne une idée relativement vague et générale, il est souvent employé comme synonyme de *concept*, particulièrement dans l'ancienne normalisation internationale en matière de procédures de travail en terminologie.¹⁴ Par conséquent, dans les textes portant sur ce sujet on peut trouver les deux termes exprimant souvent la même idée.

2.7. Terme

Les termes occupent une place centrale dans de nombreux secteurs d'activités car ils permettent de transmettre les connaissances propres à une spécialité (l'informatique, la médecine, le droit, etc.).¹⁵ Le terme est un mot, syntagme, symbole ou formule désignant un concept propre à un domaine d'emploi, aussi appelé unité terminologique.¹⁶ C'est

10 Ibidem

11 <http://www.culture.fr/Ressources/FranceTerme/Qu-est-ce-que-la-terminologie>

12 Depecker, L. : *Entre signe et concept: éléments de terminologie générale*, Presses Sorbonne Nouvelle, Paris, 2002, p. 111

13 <http://www.termisti.refer.org/theoweb2.htm>

14 Depecker, L. : *Entre signe et concept: éléments de terminologie générale*, Presses Sorbonne Nouvelle, Paris, 2002, p. 111

15 L'homme, M.-C. : *La terminologie: principes et techniques*, Les presses de l'Université de Montréal, Montréal, 2004

16 Pavel, S. : *Le Pavel, Didacticiel de terminologie*, consulté sur:
<http://www.bt-tb.tpsgc-pwgsc.gc.ca/btb.php?lang=fra&cont=308>

l'objet central de la terminologie. La relation qui unit un terme à une notion doit être clarifiée pour que la terminologie puisse atteindre son but. Il s'agit d'un rapport de signifiant à signifié, mis en évidence par la fiche terminologique.¹⁷ Le terme peut être formé d'un mot unique, des mots composés et des syntagmes. La caractéristique principale d'un terme est qu'il doit toujours être identifié en contexte. Les mots de la langue générale ne constituent pas des termes, les termes font partie des langues de spécialité. Ce qui fait la différence entre un mot et un terme est le fait que le terme a un sens spécialisé qui est rattaché à un domaine particulier du savoir. Idéalement, une seule notion doit se rapporter à un terme, ce qu'on appelle la biunivocité.¹⁸ Mais malheureusement, la polysémie, qui est caractéristique naturelle de la langue générale, est souvent présente dans les langues de spécialité. La polysémie peut avoir pour conséquence des inconvénients sérieux lorsqu'il y a risque de collision des sens au sein d'un même domaine ou sous-domaine. Le travail terminologique cherchera à éliminer les cas de collision sémantique.

2.8. Définition terminologique

La définition terminologique est surtout employée en terminologie dans l'élaboration des vocabulaires spécialisés. Elle a pour objet de permettre aux usagers de se faire une image mentale exacte de la notion. Cette définition «se propose de caractériser (*i.e.* de délimiter et de distinguer des autres notions) des notions dénomées par un terme et représentant une chose à l'intérieur d'un système organisé. Comme la définition terminologique se définit en fonction de sa finalité et non de sa forme, elle adoptera plusieurs formulations quant à sa structure (définition générique, partitive ou catégorielle) et quant à sa composition (définition lexicale, conceptuelle ou référentielle).»¹⁹ Une bonne définition terminologique doit être claire, adéquate et concise.

17 Dubuc, R. : *Manuel pratique de terminologie*, 2002, p. 33

18 Idem, p. 37

19 Larivière, L. : *Comment formuler une définition terminologique*, Meta: journal des traducteurs, vol. 41, n°3, 1996, p. 408

2.9. Recherches terminologiques

On distingue deux types de recherches terminologiques : recherche ponctuelle et recherche systématique ou thématique.²⁰ L'exploitation terminologique d'un texte se situe entre ces deux recherches.

La recherche ponctuelle traite des problèmes isolés, généralement des termes, des néologismes, des expressions techniques ou des cas d'équivalence douteuse. Comme tout évolue, il restera toujours quelque part une notion à nommer, un problème particulier à résoudre pour un usager en difficulté.²¹

La recherche systématique est plus globale et plus complexe. Elle décrit la terminologie d'un domaine ou un sous-domaine. Pour entreprendre une recherche thématique, il faut se poser beaucoup de questions pour définir les objectifs d'une telle recherche.

2.10. Objectifs de la terminologie

On a déjà mentionné que le but principal de la terminologie est d'assurer une communication précise et efficace au sein d'un domaine. Afin d'atteindre ce but on doit recourir à la normalisation. La normalisation est une fixation des notions et de dénominations standardisées qui assure la précision dans la communication spécialisée.²² Elle élimine les ambiguïtés en réduisant la synonymie et la polysémie intervenant si plusieurs formes linguistiques désignent la même notion.

20 Dubuc, R. : *Manuel pratique de terminologie*, 2002

21 Idem, p.42

22 http://www.termisti.org/rifal/PDF/tn21/tn21_Teresa%20Cabr%C3%A9.pdf

3. NORMALISATION

La normalisation s'est démontrée indispensable pour la traduction scientifique ou technique parce qu'elle nous permet de disposer des termes fiables et clairement compréhensibles, afin d'éviter les incohérences, les ambiguïtés et les périphrases. C'est un concept qui vient de l'industrie et qui a au moins deux sens:

« - Celui de normalisation technique, qui est la normalisation des objets industriels: celle-ci intervient dans les procédures de fabrication ou d'utilisation de produits industriels. On fait des normes, principalement, pour assurer la fiabilité des produits, permettre leur échange et leur commercialisation à travers le monde.

- Celui de normalisation terminologique: pour faire la description des règles de fabrication de ces produits, il est nécessaire de construire des terminologies qui désignent exactement les objets en cause... Et il faut que le même terme soit employé pour le même concept tout au long de la norme, et d'une norme à l'autre: ce qui est considérable.»²³

Les avantages de la normalisation sont évidents et l'information normative devient un outil indispensable par:

- « a) la fiabilité du résultat du produit ou de l'activité normalisée ;
- b) la simplicité: les normes réduisent le nombre des variétés et unifient la terminologie et les éléments des produits, leurs matériaux et leurs modes opératoires ;
- c) l'économie: les normes réduisent les coûts de production, de planification, des procédés, des techniques, etc. ;
- d) la coopération : les normes stimulent la coopération aux niveaux national et international et assurent l'interchangeabilité ;
- e) la pluridisciplinarité: les normes traitent de tous les domaines techniques, économiques et sociaux de l'activité humaine ;
- f) l'actualité: les normes suivent l'évolution du progrès technique et social et sont vérifiées périodiquement quant à leur validité ou selon les nécessités des utilisateurs ;

23 Depecker, L. : *Normalisation et standardisation*, Hieronymus Complutensis, El mundo de la Traducción, n° 3, 1996, Revista del Instituto Universitario de Lenguas Modernas y Traductores, p. 85

g) la qualité: les normes déterminent les critères, les méthodes et les procédures ainsi que le contrôle et l'évaluation des aspects normalisés.»²⁴

Chaque norme est un ensemble de spécifications techniques qui doivent être respectées afin de garantir le plus haut niveau de qualité de la traduction et des produits. Elle est élaborée en collaboration et avec le consensus de tous les intéressés et elle est approuvée par un organisme qualifié sur le plan national, régional ou international.

3.1. Les organisations de normalisation

Les organisations de normalisation sont des organisations ayant pour objectif l'établissement et le maintien des normes destinées à des utilisateurs extérieurs à cette organisation. Le rôle des organisations de normalisation est double : assurer un statut officiel aux normes dans le cadre d'un processus de validation et en produire des nouvelles, si nécessaire.²⁵ Comme les normes sont élaborées au niveau national, européen et international, dans ce chapitre nous allons présenter les organisations internationales, régionales et les organismes nationaux de normalisation.

3.1.1. Les organisations internationales de normalisation

L'organisation de normalisation la plus importante est l'ISO. C'est une organisation non gouvernementale sans but lucratif qui a été fondée en 1947 et depuis lors, cette organisation a publié plus de 19 500 normes internationales couvrant quasi la totalité des aspects techniques et économiques.²⁶ Le secrétariat central de l'ISO est situé à Genève, en Suisse. L'ISO est composée de membres qui sont les organismes nationaux de normalisation de 163 pays. Il y a trois catégories de membres, avec différents niveaux d'accès et d'influence dans le système ISO. Les pays dont les ressources sont limitées ou

24 Gomez, C., Pinto, M. : *La normalisation au service du traducteur*, Meta: journal des traducteurs, vol. 46, n°3, 2001, p. 564

25 <http://www.afnor.org/metiers/normalisation/organisation-du-systeme-francais-de-normalisation/l-iso>

26 http://www.iso.org/iso/fr/home/about/the_iso_story.htm

dont le système national de normalisation n'est pas encore totalement fonctionnel peuvent observer et suivre la normalisation internationale à l'ISO.²⁷

«Les normes internationales ISO contiennent les éléments suivants :

- un numéro de référence constitué d'un préfixe qui identifie l'organisation ;
- un numéro de série et l'année de publication ;
- le titre de la norme suivi de l'identifiant ICS (Classification internationale pour les normes, classification hiérarchique à trois niveaux) ;
- un ensemble de descripteurs attribués à chaque document afin de faciliter la recherche des normes par sujet. Les descripteurs font partie du Thésaurus international technique (TIT), utilisé par l'ISO afin d'indexer les documents et dont l'auteur est l'AFNOR.»²⁸

Les normes ISO sont généralement publiées en deux versions séparées: l'anglaise et la française, mais parfois aussi en édition bilingue (anglais/français) pour les normes dans le domaine de la terminologie. Elles peuvent être recherchées dans les publications par sujets, par les mots du titre, par descripteurs et par le numéro de référence ISO. Les normes ISO sont les plus réputées et appréciées, ainsi que largement applicables au niveau mondial. Afin de faciliter l'accès à l'information des normes, ISO a créé ISONET, un réseau mondial d'information formé de nombreux centres nationaux d'information qui fournissent des renseignements de caractère normatif.²⁹ Cependant, les normes qui concernent les secteurs de l'électrotechnique et des télécommunications ressortissent à la *Commission électrotechnique internationale* (CEI) et à l'*Union internationale des télécommunications* (UIT).³⁰

3.1.2. Les organisations régionales de normalisation

Les organisations régionales de normalisation sont ouvertes à tout organisme national représentant un pays à l'intérieur d'une zone géographique, politique ou économique dans le domaine de la normalisation. Elles sont généralement intégrées à l'ISO. Parmi les plus importantes organisations dans la région européenne, on peut citer

27 http://www.iso.org/iso/fr/home/about/about_governance.htm

28 Gomez, C., Pinto, M. : *La normalisation au service du traducteur*, Meta: journal des traducteurs, vol. 46, n°3, 2001, p. 566

29 Ibidem

30 Idem, p. 565

le *Comité européen de normalisation* (CEN), fondé en 1961³¹, ayant pour la mission principale l'élaboration des normes européennes, ainsi que leur mise à jour afin de faciliter le fonctionnement du marché intérieur européen. Les résultats des activités des organismes européens de normalisation sont les normes européennes (EN), des documents harmonisés et des normes expérimentales. Le champ d'action du CEN couvre tous les domaines de la normalisation, à l'exception de la technologie de l'électronique et de la communication, qui sont du ressort du *Comité européen de la normalisation électrotechnique* (CENELEC) depuis 1959. On peut citer aussi l'*Institut européen des normes de télécommunication* (ETSI), fondé en 1988, qui est un organisme de normalisation élaborant des normes relatives aux télécommunications approuvées en tant que «normes européennes de télécommunication (ETS)».³² Ces trois organismes européens de normalisation (CEN, CENELEC et ETSI) ont été officiellement reconnus par l'Union européenne et par l'*Association européenne de libre échange* (AELE) comme responsables de l'élaboration et la définition de normes au niveau européen.³³

3.1.3. Les organismes de normalisation nationaux

Ce sont les organismes responsables pour la normalisation au niveau national et dont l'une des principales fonctions est la préparation, l'approbation ou l'adoption de normes mises à la disposition du public de plusieurs façons.

En France, l'organisation de normalisation est AFNOR (*l'Association française de normalisation*), créée en 1926 dans le but de contrôler le secteur de normalisation. Treize ans plus tard, l'AFNOR est autorisée à utiliser la marque NF, marque nationale de certification. Placée sous la tutelle du ministère de l'Industrie, l'AFNOR a contribué, en février 1947, à la création de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) dont elle est l'un des membres. À l'heure actuelle, l'AFNOR coopère avec plus de 3 000 entreprises adhérentes.³⁴ Sa mission est d'animer et de coordonner le processus

31 <http://www.afnor.org/metiers/normalisation/organisation-du-systeme-francais-de-normalisation/le-cen>

32 <http://www.marche-public.fr/Marches-publics/Definitions/Entrees/ETSI.htm>

33 <https://www.cen.eu/about/Pages/default.aspx>

34 http://www.iso.org/iso/fr/about/iso_members/iso_member_body.htm?member_id=1738

d'élaboration des normes et de promouvoir leur application en assurant l'édition de différentes publications qui garantissent l'accès à l'information.

L'Institut croate de normalisation (Hrvatski zavod za norme) est une institution publique sans but lucratif créée en 2004 afin de s'occuper de réalisation des objectifs de la normalisation. Il est membre de l'ISO, du CEN, du CENELEC, de l'IEC, et de l'ETSI.³⁵

NORMOTEKA est une bibliothèque spécialisée créée par *l'Institut croate de normalisation* qui contient des collections de normes et autres documents normatifs avec les catalogues d'accompagnement, périodiques et bases de données, qui peuvent être utilisés pour rechercher des données sur les normes et autres documents dans le domaine de la normalisation.

HZN Glasilo est la publication officielle de *l'Institut croate de normalisation* qui paraît tous les deux mois et qui informe sur les résultats de la normalisation croate, européenne et internationale.

3.2. La normalisation du vocabulaire spécialisé

La normalisation du vocabulaire spécialisé est indispensable pour la représentation des connaissances et leur transmission. Les processus de la normalisation terminologique sont complexes et comprennent plusieurs étapes :

- l'unification des concepts et des systèmes des concepts ;
- la définition des termes ;
- l'élimination de la synonymie ;
- la réduction de l'homonymie ;
- l'établissement des abréviations et des symboles, etc.³⁶

L'ISO a développé des formats d'échange de données terminologiques (ISO 6156 et ISO 2709) ayant pour but de rendre possible la compatibilité entre les banques de données déjà existantes, et ensuite entamer la normalisation technique des produits.³⁷ La plupart des banques terminologiques visent les unités lexicalisées : des termes simples ou

³⁵ <http://www.hzn.hr/default.aspx?id=6>

³⁶ <http://id.erudit.org/iderudit/002940ar>

³⁷ Ibidem

composés (NORMATERM). D'autres banques de données, telles que EURODICAUTOM, acceptant aussi les phrases et les propositions.³⁸

4. PRÉSENTATION DU DOMAINE: GENIE CIVIL

L'histoire des ponts remonte aux temps les plus reculés car depuis toujours l'homme a eu besoin de franchir les obstacles et il a trouvé des solutions techniques bien différentes pour construire des ponts. Ces ponts avaient des formes simples, influencées par les matériaux disponibles.

Aujourd'hui, les ponts font partie de la famille des ouvrages d'art et leur construction relève du domaine du génie civil, un domaine très intéressant grâce au développement de nouveaux matériaux et aux nouvelles techniques de construction. Le génie civil représente l'ensemble des techniques concernant les constructions d'infrastructures civiles.³⁹ On construit plus aujourd'hui dans le monde que jamais auparavant. Il existe aujourd'hui de nombreuses formes des ponts très différentes, ce qui rend la classification des ponts assez difficile. On peut utiliser plusieurs critères de classement: la structure, la taille, la voie portée, la brèche franchie, le mode de construction, le matériel du tablier, la nature des réactions que le pont produit sur ses appuis.... Les besoins évoluent, engendrant des constructions sans précédent par leurs fonctions et par leurs dimensions. De nouveaux matériaux (bétons et aciers à très hautes résistances) et de nouvelles méthodes de calcul liées à l'informatique permettent aux architectes de ne plus être limités dans leur conception et de laisser libre cours à leur imagination. Ce développement accéléré et la multiplication des innovations ont apporté un vaste besoin des termes. Par conséquent, le génie civil bénéficie d'un vocabulaire normalisé et la polysémie est très rare.

38 <http://id.erudit.org/iderudit/002940ar>

39 <http://www.graphland.fr/genie-civil/le-genie-civil/>

5. METHODOLOGIE DU TRAVAIL

En terminologie, la méthodologie du travail est l'ensemble des procédures et des techniques adoptées pour arriver à un but déterminé. La démarche initiale de ce travail est la recherche et la systématisation d'un lexique terminologique bilingue (français-croate) du domaine de la construction des ponts qui sera une aide à la traduction, ainsi que l'examen du rôle de la normalisation tout au long du processus de la traduction.

5.1. Domaine

On a déjà mentionné que la terminologie est un ensemble des termes propres à une activité ou à une discipline. Afin d'étudier, grouper et structurer ces termes, il est indispensable de délimiter leur domaine. «Le domaine est une sphère de l'activité humaine fortement délimitée thématiquement.»⁴⁰ Il sert à nous indiquer le champ notionnel d'un terme, de mieux situer et comprendre une notion et de retrouver plus facilement un terme.

Le domaine de ce travail est la construction est la classification des ponts, une activité humaine d'une histoire très intéressante qui a connu un développement fantastique au cours des dernières décennies.

5.2. Corpus

Toute la recherche terminologique s'organise à partir d'un corpus. «Pour entreprendre une recherche terminologique, le terminologue réunit un ensemble de textes représentatifs du domaine étudié. Le corpus est l'ensemble constitué par ces textes.»⁴¹ Il doit être pertinent, complet, actuel et refléter le mieux possible le domaine choisi.

40 Le Pavel, *Didacticiel de terminologie*:

<http://www.bt-tb.tpsgc-pwgsc.gc.ca/btb.php?lang=fra&cont=308>

41 Popescu, M. *Gestion du corpus dans la recherche terminologique*, Universitatea Transilvania, Braşov, p. 812, consulté sur

http://www.upm.ro/facultati_departamente/stiinte_litere/conferinte/situl_integrare_europeana/Lucrari3/franceza/Mihaela%20Popescu.pdf

Le corpus de ce travail terminologique comprend trois textes. Le texte principal est l'article *Ponts* de *l'Encyclopædia Universalis*. Ce texte explique d'une façon scientifique l'histoire, la classification et la construction des ponts. Le deuxième texte *Renseignement de base sur les structures* est trouvé sur l'internet et est écrit dans le but de faciliter la tâche des professeurs dans leur programme scolaire en expliquant d'une façon plus simple le vocabulaire de base sur les ponts et les tours. Le troisième texte est aussi trouvé sur l'internet et il décrit la construction du viaduc Millau, un viaduc très connu en France, en utilisant le vocabulaire technique.

5.3. Glossaire

Glossaire est une liste alphabétique placée à la fin d'un ouvrage et donnant les mots du vocabulaire spécialisé qui y est utilisé.⁴² Comme l'ensemble des termes relatifs à une activité donnée, il ne reprend pas les mots de la langue courante. Il les prend en considération seulement s'ils sont utilisés dans une signification particulière.

Notre petit glossaire bilingue (français-croate) qui suit la traduction contient les termes appartenant au domaine de la construction et classification des ponts.

5.4. Fiche terminologique

La fiche terminologique est la base du travail terminologique. C'est un document qui contient, sous une forme facilement accessible et repérable, des renseignements permettant d'identifier un terme. Elle comprend des catégories comme, par exemple, la définition qui décrit complètement le terme de manière à le distinguer des autres termes, ou le contexte qui nous permet de voir l'environnement linguistique naturel du terme et qui éclaire son sens et sa valeur. On distingue la fiche monolingue et la fiche multilingue. Dans notre mémoire, nous allons faire des fiches bilingues. Les renseignements obligatoires assurent la compréhension d'un terme tandis que les renseignements

42 <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/glossaire/37201>

complémentaires sont responsables pour sa clarification plus approfondie. Il existe plusieurs formats des fiches terminologiques et nous avons choisi la forme suivante :

terme	
catégorie grammaticale	
collocation(s)	
domaine	
sous-domaine	
définition	
synonyme(s)	
hyperonyme	
hyponyme(s)	
contexte du terme (+ réf.)	
équivalent	
catégorie grammaticale	
source de l'équivalent	
contexte de l'équivalent (+ réf.)	

6. TRADUCTION

MOSTOVI

- 1 *Podjela mostova*
- 2 *Povijest mostogradnje*
- 3 *Moderni mostovi*
- 4 *Posebne vrste mostova*

Funkcija mostova je omogućavanje svladavanja određene prepreke pomoću neke vrste prometnice. Prepreka je u početku mogla biti rijeka ili duboki tjesnac, a prometnica cesta ili cjevovod. Pont du Gard, sagrađen u 1. stoljeću n.e., najpoznatija je vrsta mosta akvedukta.

Razvojem industrijskog društva i prijevoznih sredstava, gradnja se umnogostručila. Od 17. stoljeća mogle su se prijeći rijeke i nizine pomoću kanala- vrste mosta poput onog kojeg je Gustave Eiffel izgradio 1896. godine u Briaru.

Razvojem željeznica tijekom druge polovine 19. stoljeća, zbog obveznog ograničavanja nagiba, postala je neophodna izgradnja vijadukata koji mogu premostiti doline na velikoj visini i gotovo nepromjenjivoj razini. To je period izgradnje vijadukta Garabit na rijeci Truyère (Léon Boyer i Gustave Eiffel, 1884.) i vijadukta u Viauru (Paul Bodin, 1902.), ali i mnogih drugih vijadukata koji imaju iste raspone i premošćuju relativno slabe udaljenosti poput zidanih vijadukata u Morlaixu, Dinanu, Barentinu, Chaumontu, Saint-Chamasu, itd.

Stvaranje autocestovne mreže u posljednjih nekoliko desetaka godina umnogostučilo je izgradnju koja je za cilj imala prelazak rijeka i dolina s nagibima koji ne prelaze 4 do 5 posto, ali i drugih vrsta prometnica poput željeznica i cesta, pa čak i urbanističkih zona čija gustoća naseljenosti ne dozvoljava postavljanje autoceste na tlo. Vijadukt Poncin pomoću kojeg autocesta A40 prelazi dolinu Ain, vijadukt u Nantui koji se nastavlja na tunel koji prolazi kroz planinu na visini od 100 metara iznad dna doline, te vijadukti u Glacièresu i Sylansu koji premošćuju područje nestabilno zbog odrona na autocesti Lyon-Genève preko Nantue, značajni su primjeri gradnje koju nameće izgradnja autoceste na zahtjevnim područjima. Vijadukt odvojka autoceste u Bagnoletu koji se priključuje na sjevernu autocestu, te vijadukti u Neuilly-Plaisanceu na liniji Marne-la-Vallée

prigradske željeznice, premošćuju gusto naseljena područja. Oim toga, potreba za izbjegavanjem križanja s drugim prometnicama dovela je do izgradnje brojnih mostova koji omogućuju sekundarnim prometnicama prijelaz preko autoceste. Takvi podvožnjaci ili nadvožnjaci- ovisno o položaju sekundarnog prolaza u odnosu na autocestu, standardizirani su i svrstani kao zasebna vrsta mostova. Postoje također i čvorišta, ponekad jako složena kod gradskih autocesta, gdje se križaju dvije, tri, pa čak i četiri razine kretanja na prometnicama čija je trasa često velikog radijusa i čija masivnost ne smije biti velika. Takva čvorišta trebaju imati uporište na tlu u točkama određenima rasporedom prometnica. Čvorište kod Porte de la Chapelle na obilaznici u Parizu te Saint-Maurice između autocesta A4 i A86, dobri su primjeri takvih čvorišta.

Mostovi koji služe kao cjevovodi imaju sasvim posebne oblike koji proizlaze iz malih dimenzija i slabe otpornosti unutrašnjosti cijevi.

Osmišljavanje novih prijevoznih sredstava poput zračne željeznice, bilo je razmatrano 70-ih godina dvadestog stoljeća. Taj projekt, kojeg je osmislio J. Bertin, iziskivao je betonsku podlogu u obliku obrnutog slova T. Od pokusne linije zračne željeznice na zračnim jastucima koja polazi iz Orléansa se odustalo.

1 Podjela mostova

Svrstati mostove u različite kategorije veoma je teško jer postoji mnogo različitih kriterija svrstavanja: materijal od kojeg je izgrađena ploča kolnika (danas uglavnom od čelika te armiranog i prednapregnutog betona), vrsta opterećenja koju most prenosi na svoje nosače, način funkcioniranja strukture pri uzdužnom savijanju, poprečna statička shema građevine, te njezin način konstrukcije.

U tradicionalnoj podjeli postoje 3 velike skupine prema vrsti opterećenja koje građevina prenosi na svoje nosače: gredni mostovi koji vrše isključivo okomito ili gotovo isključivo okomito opterećenje ako ubrojimo horizontalno opterećenje koje stvara kočenje vlakova ili djelovanje vjetra, oni moraju biti izgrađeni od materijala otpornih na savijanje poput drva, armiranog ili prednapregnutog betona, te čelika; lučni mostovi koji silu pritiska prenose na svoje upornjake- to su strukture sa zategama koje mogu biti izgrađene od materijala otpornih na razvlačenje poput kamena ili lijevanog željeza; viseći mostovi kod kojih veliki nosivi kablovi prenose vlačnu silu na masivne upornjake.

Jednostavnost ove podjele ne omogućava nam predstavljanje velike raznolikosti uzdužnih statičkih shema:

- u viseće mostove ubrajamo, osim pravih visećih mostova, i one prividne koji su sidreni u gredi za ukrućenje, te ovješene mostove kod kojih je svaka vješaljka direktno ovješena na gredu za ukrućenje čiji pritisak dovodi u ravnotežu vlačno opterećenje kablova i vješaljki.

- Moderni lučni mostovi mogu imati kolnik iznad luka, upušteni kolnik, ili kolnik ispod luka, ovisno o njegovom položaju u odnosu na luk. Luk počiva na svojim petama i može sadržavati od jednog do tri zgloba; najčešće se radi o dva zgloba koji su smješteni u petama luka kao što je slučaj vijadukta Garabit, ili tri, kod kojih je treći smješten u tjemenu luka.

U određenim slučajevima, kada je kolnik smješten jako nisko, a posebno kada tlo nije u stanju preuzeti potisak klasičnog luka, sam kolnik može preuzeti potisak luka pa takav most zovemo luk s preuzetim potiskom, a možemo ga nazvati i rešetkasti most s bočnim gredama promjenjive visine.

Kolnik je pričvršćen spojnicama od čelika, armiranog ili prednapregnutog betona, ili kablovima koji mogu biti okomito ili koso raspoređeni u obliku slova V ili X. Najčešće kod lučnih mostova s kolnikom iznad luka broj stupova koji podupiru kolnik može biti smanjen zbog povećanja otpornosti na savijanje i to toliko da se forma konstrukcije može promijeniti u formu razupornog mosta; takav primjer je glavni most vijadukta Martigues u Caronteu ili most Bonhomme preko rijeke Blavet. Kosina razupora može biti promjenjiva. One čak mogu postati okomite, čime konstrukcija poprima formu trijema poput mosta ispod linije metroa na stanici Bir-Hakeim u Parizu ili malog mosta između Île Saint-Louis i Île de la Cité.

- Gredni mostovi imaju najrazličitije forme. Konstrukciju može činiti jedna neprekinuta greda koju podupiru brojni nosači, ili može biti podijeljena na više samostalnih raspona. Brojne prijelazne sheme omogućuju variranje stupnja hiperstatičnosti strukture. Grede tvore nosivi dio konstrukcije i mogu biti smještene ispod kolovoza ili sa strane, pa govorimo ili o nosivim ili bočnim gredama. Na modernim konstrukcijama, one su raznih oblika od čelika ili od betona, punostijene ili rešetkaste.

2 Povijest mostogradnje

Povijest mostogradnje je prvenstveno povijest materijala od kojih su se mostovi gradili. Prve konstrukcije gradile su se od prirodnih materijala poput drva, lijani i kamena. Lijane su se koristile za gradnju visećih pješačkih mostova; kamen za gradnju grednih mostova – obična kamena ploča smještena između dva nosača, te lukova; drvo se koristilo za gradnju grednih mostova – niz debala između dva nosača, te sve kompleksnijih rešetki koje su išle uz gredne ili lučne mostove. Pješački mostovi na Himalaji predstavljaju primjere gradnje pomoću niza konzola, s deblima umetnutim u

upornjak od suhozida koji su na sve većoj visini premošćivali dolinu; te primjere mostova koji podsjećaju na vrpcu napetu između dvije obale.

Drveni mostovi

Od antike pa sve do 17. stoljeća, drvo je bilo najčešće korišteni materijal pri gradnji mostova, iako su očuvani samo rijetki primjeri poput mosta Pont de la Chapelle u Luzernu koji je najpoznatiji, i mosta Akademije u Veneciji. Međutim, povjesničari su nam ostavili opise najvažnijih djela: Herodot priča o mostovima na Nilu i Eufratu dvadeset stoljeća prije Krista; Darije je prešao Bospor, a Kserkso Dardaneli na mostovima od brodova; Cezar je u osam dana stvorio most na Rajni kako bi srušio Germane 55. g. pr.kr., a Trajan je 105. godine dao sagraditi most od 1100m na Dunavu, čiji nam je prikaz ostavljen na Trajanovom stupu. Drvo se još naveliko upotrebljavalo u Sjevernoj Americi za velike željezničke vijadukte.

Kameni mostovi

Kamen i zidarstvo upotrebljavali su se za važna i trajna djela od antike do kaja 19. stoljeća, pa čak i sve donedavno u Kini za vrijeme kulturne revolucije. Kameni lukovi potječu još od Sumerana, ali su zapravo Etruščani, a pogotovo stari Rimljani, razvili njihovu konstrukciju i pritom stekli takvu kompetentnost (Vitruvijev traktat) koja će ponovo biti otkrivena tek u 16. stoljeću u Italiji. Prvi lukovi na mostovima građeni od velikih kamenih blokova u tehnici opus quadratum u Rimskom Carstvu, gradili su se pomoću nanizanih kamenih prstenova kako bi se ograničila veličina svoda, dok su se mostovi kasnoga Carstva zidali zahvaljujući otkriću prirodnih veziva. Rasponi rimskih lučnih mostova mogu dosegnuti 30 m (usp. RIM I RIMSKO CARSTVO – Rimska umjetnost).

Srednji vijek nije donio nikakav značajniji napredak (most Bénézet u Avignonu iz 1187., te most u Céretu iz 1339.), nego samo malo drugačiji oblik luka koji postaje šiljast (most Valentré u Cahorsu iz 1308., te u Entrayguesu iz 1269.), vjerojatno pod utjecajem orijentalne gradnje koja će doživjeti svoj procvat u Turskom Carstvu (mostovi Sinan-paše, kao i most u Mostaru u Jugoslaviji*). Tek će se u razdoblju talijanske renesanse pojaviti segmentni lukovi i stupovi pročišćenijih linija, a dobri primjeri su most Santa Trinita u Firenci iz 1590. godine i most Rialto u Veneciji iz 1590. g. U Francuskoj je tehnika gradnje doživjela značajan napredak tek u 18. stoljeću zahvaljujući osnivanju Odjela za mostove i ceste 1716. godine, Škole za mostove i ceste 1747., te djelima Jean-Rodolpha

Perroneta, njezinog prvog ravnatelja (most Georges V. u Orléansu iz 1761. i most u Concordeu iz 1791.). Izgradnja željezničkih linija tijekom 19. stoljeća bila je prilika za osmišljavanje, pogotovo u Francuskoj i Velikoj Britaniji, velikih zidanih željezničkih vijadukata kojima su kao polazna točka poslužili akvadukti iz 17. i 18. stoljeća. Zidanje se profilira, a rasteretni lukovi smanjuju masu konstrukcije, pogotovo iznad nosača. Paul Séjourné, slavan zbog svoje knjige *Grandes Voûtes* u 6 tomova i kojeg su smatrali najsjajnijim francuskih inženjerom tog doba, izgradio je most Adolphe preko rijeke Pétrusse u Luksemburgu 1903. godine gdje je po prvi put korištena kolnička ploča od armiranog betona, te vijadukt Fontpédrouse iz 1911. godine.

Metalni mostovi

Metalne konstrukcije su stare konstrukcije jer su još od prvog stoljeća naše ere budistički redovnici u Tibetu gradili viseće mostove na kojima su željezni lanci zamjenjivali lijanu. U Kini, gdje su već bili izgrađeni izvanredni lučni zidani mostovi, viseći most ukupne duljine 100 m izgrađen je 1706. godine, a postoji još i danas. Razvoj metalnih konstrukcija na Zapadu počinje s razvojem industrije krajem 18. stoljeća, kada je Abraham Darby III, majstor kovanja, izgradio Coalbrookdale Bridge preko rijeke Severn 1779. godine. Most se sastoji od pet paralelnih lukova od lijevanog željeza. Most u Sunderlandu u Velikoj Britaniji iz 1796. godine s ukupnom duljinom 72 m, te pješački most Arts kojeg je izgradio Cessart 1803. godine, označavaju početke metalnih mostova. Svi mostovi koji su do oko 1850. godine bili građeni od lijevanog željeza, urušili su se poput mosta Saint-Louis u Parizu iz 1939., ili su uništeni jer je taj materijal bio slabo otporan na razvlačenje i udarce.

No razvojem industrije željeza, lijevano željezo zamjenjuje se prvo tučenim, odnosno kovanim željezom, a zatim i željezom direktno dobivenim dorađivanjem lijevanog željeza. Most Britannia jedan je od najslavnijih primjera. Izgradio ga je Robert Stephenson 1850. godine. Most se sastoji od dva raspona po 140 m, strukture punostijenog, sandučastog grednog mosta. Možemo također navesti konstrukcije Gustavea Eiffela poput mosta Maria Pia u Portu iz 1878. godine s otvorom luka od 160 m, cestovni vijadukt Saint-André-de-Cubzac iz 1882. godine te željeznički vijadukt preko rijeke Sioule.

Nakon izuma Bessemerovog konvertera 1856. godine, a zatim i Siemens-Martinovog postupka 1867., čelik zamjenjuje željezo. Konstrukcije su se naglo stanjile zahvaljujući mehaničkim karakteristikama koje su se neprestano usavršavale, poput granice elastičnosti čelika koja prelazi sa 100 na 150 MPa, tada i do 240 MPa, zatim do 360 MPa nakon Drugog svjetskog rata pa i do 600

MPa na nekim japanskim mostovima. Prvi čelični most bio je most Saint-Louis na rijeci Mississippi, a izgradio ga je Ends 1874. godine. To je početak izvanrednog razvoja kojeg će obilježiti i izgradnja mosta iznad estuarija Firth of Forth kojeg su 1890. godine osmislili Fowler i Baker i koji je u to doba bio najveći most na svijetu s dva raspona od 521 m.

Usporedno s razvojem granice elastičnosti čelika, razvoj metalnih konstrukcija obilježilo je i unaprjeđenje postupka spajanja dijelova te kolničke ploče mosta. Pri gradnji prvih željeznih i čeličnih mostova, različiti dijelovi spajali su se pomoću zakovica i prijelaznih ploča. No osim dodatne težine koju takav način montiranja uključuje, i sama izvedba je skupa. Tu tehniku je stoga zamijenilo zavarivanje. Međutim, već kod prvih mostova koji su se zavarivali, pokazalo se da su jako neotporni na hladnoću; tako se most Hasselt preko kanala Albert u Belgiji srušio 1938. godine bez da je nosio i najmanji teret; mnogi brodovi Liberty doživjeli su istu sudbinu za vrijeme rata, a most Duplessis u Kanadi srušio de 1951. godine zbog temperature od -35°C . Trebalo je stoga razviti posebne vrste čelika koje će biti pogodne za zavarivanje (čelik A 52 S γ Nb u Francuskoj, danas nazvan čelik E355) i koji ne izazivaju njihovu krhkost. (usp. METALURGIJA – Povijest). Došlo je do spajanja dijelova pomoću vijaka visoke otpornosti po principu pričvršćivanja dijelova jedan uz drugi pomoću prijelaznih ploča. Otpornost spoja postignuta je trenjem prijelaznih ploča, a zahvaljujući kontroliranoj snazi pričvršćenosti koju proizvode vijci. Taj postupak ponekad se koristi na gradilištima za montiranje velikih okvirnih elementa od zavarenog čelika (most Masséna i metalni mostovi na čvorištu Bercy, iznad ceste Pariz-Lyon na pariškoj obilaznici). No, značajan napredak postignut na području zavarivanja veoma je ograničio interes za ovo rješenje. Postupci projektiranja, podjele otvora, zavarivanja i rukovanja dijelovima u tvornici danas su automatizirani i njima upravlja računalo; radi se o računalno potpomognutoj proizvodnji (F.A.O. - fabrication assistée par ordinateur) koja je povezana s računalno potpomognutim dizajnom (C.A.O. - conception assistée par ordinateur) kako bi se omogućila automatizirana proizvodnja u tvornici s minimalnom ljudskom intervencijom, počevši od naredbi koje dolaze direktno iz projektantovih naputaka koje šalje sa svog računala.

Kod prvih metalnih mostova, obloga, tj. element koji prekriva nosivi metalni kostur i koji podupire ili sačinjava ploču kolnika, bila je od drva, naročito kod visećih mostova, te od perforiranog lima ili zidana. Radilo se o malim svodovima od opeke pričvršćenih na dijelove mosta ili glavnu gredu, kao kod vijadukata nadzemnih linija pariškog metroa. Obloge su se početkom stoljeća zamjenjivale pločama od armiranog betona položenih na metalni kostur, a svrha im je bila

prenošenje opterećenja. Zadnjih nekoliko desetljeća ta se ploča od armiranog betona pomoću spojnice spaja na metalni okvir koji pridonosi otpornosti konstrukcije pri longitudinalnom savijanju, barem u zonama pozitivnog momenta kada je ploča pod tlačnim opterećenjem. Time se omogućava smanjenje dimenzija i broja gornjih čeličnih greda. Spojnice mogu biti različitih vrsta: vijci Nelson zavareni električnim pištoljem na gornji rub grede, kutnog željeza... Za konstrukcije velikog raspona (grede velikog raspona, viseći ili ovješeni mostovi), problem lakoće konstrukcije doveo je do projektiranja čisto metalnih ploča, sastavljenih od napregnutog lima, zbog čega su i dobile naziv ortotropne ploče, skraćeno od "otrogonalna anizotropija". Uzdužno se lim pojačava otvorenim rebrima (ploče, kutno željezo, T-profil...) ili zatvorenim rebrima različitih oblika od kojih je u Francuskoj najčešći žlijeb u obliku slova U. Ta uzdužna rebra pojačana su poprečnim rebrima koja osiguravaju poprečnu čvrstoću, a razmak između njih je nekoliko metara, u Francuskoj najčešće 4 m. Takav primjer je most Chaumont preko rijeke Loire, mosta Alma u Parizu i Cornouaille u Bénodetu iz 1973. godine. Prijelazno rješenje je ploča Robinson koja se danas rijetko upotrebljava, a koju sačinjava metalni lim na kojoj je tanka betonska ploča debljine 8 do 10 cm, za koju je jako pričvršćen. Tu ploču nose umjereno razmaknute grede ili dijelovi mosta (most Aquitaine u Bordeauxu).

Viseći mostovi

Imajući na umu kineske viseće konstrukcije, prvi takav most na Zapadu sagradio je Amerikanac James Findlay. Radilo se o jednostavnom mostu raspona 21 metra, s užadima koje su sačinjavali lanci od kovanog željeza. Veliki pomak dogodio se 1817. godine kada je Englez Brown izumio lance sastavljene okastih šipki: most u Berwicku s rasponom od 137 m iz 1820. godine kojeg je vjetar uništio šest mjeseci kasnije; Thomas Telford sagradio je 1826. godine most na rijeci Menai čiji je raspon dosegnuo 177 m, a koji je bio u funkciji do 1940. godine. Braća Seguin izumili su kablove sastavljene od paralelnih žica malog promjera (3mm) koji su bili otporniji od lanaca sa šipkama, te su 1825. godine sagradili most Tournon na rijeci Roni s dva raspona od 85 m, nakon kojega će uslijediti još stotinjak drugih visećih konstrukcija u pokrajini Rona-Alpe. Most u Fribourgu kojeg je 1834. godine sagradio J. Chaley, ima raspon od 273 m. Rekord je oboren 1883. godine kada je J. Roebling, pomoću kablova od paralelnih čeličnih niti, sagradio most Brooklyn u New Yorku s rasponom od 486 m. Od tada se kablovi rade od čelika vrlo visoke granice elastičnosti. Francuz F. Arnodin osmislio je uvrnuti čelični kabel kojeg je dobio omotavajući nekoliko slojeva žica oko jedne

ravne žice. Raspon mosta George Washington kojeg je 1931. godine sagradio O.H. Amman na rijeci Hudson u New Yorku, prvi je put premašio 1000 m. To je prvi moderni veliki viseći most, ali je manje poznat od mosta Golden Gate kojeg je J. Strauss sagradio u San Franciscu 1937. godine i koji je preuzeo vodstvo s rasponom od 1281 m. Amman će ga ponovno oboriti 1964. godine izgradnjom mosta Verrazzano Narrows na ulazu u luku New York (1298 m).

Brojni su se viseći mostovi srušili: most u Berwicku 1820. godine, most un Roche-Bernardu 1840., četiri godine nakon izgradnje, a oba zbog djelovanja vjetra. Kod tih prvih konstrukcija su poprečni dijelovi mosta pričvršćeni na vješaljke, u uzdužnom smislu bili spojeni samo običnom pločom mosta, koja nije bila otporna na momente poprečnog savijanja prouzrokovane vjetrom. Tankoća te ploče dovela je do velike deformacije pri prolasku tereta: upravo je zbog tog razloga željeznički most na rijeci Tees morao je biti stavljen van funkcije nekoliko godina nakon izgradnje, oko 1830. Takva savitljivost imala je i druge važne posljedice: most Broughton se 1831. godine srušio pri prolasku marširajuće trupe; most Basse-Chaîne u Angersu srušio se 1850. godine u sličnim okolnostima iako su se nudila drugačija objašnjenja. Od 1840. godine inženjeri su pokušavali povećati čvrstoću kolničke ploče kako bi izbjegli takve nesreće, no tek su se krajem stoljeća pod utjecajem inženjera poput Roeblinga i Arnodina, pojavile prave grede visoke čvrstoće.

Rušenjem mosta Tacoma Narrows 7. studenog 1940., četiri mjeseca nakon izgradnje, izašle su na vidjelo prethodno neslućene aerodinamične pojave (usp. AERODINAMIKA). Vjetar umjerene brzine (18 metara u sekundi) prouzročio je oscilacije u savijanju koje se povećavalo zbog istodobnog uvijanja same konstrukcije čija je unutrašnja frekvencija bila gotovo jednaka. Aeroelastična istraživanja i pronalazak odgovora na djelovanje turbulentnog vjetra danas su neophodni za mostove velikih raspona i uvelike uvjetuju njihovo projektiranje.

No, u posljednje se vrijeme viseći mostovi sve manje grade, a zamjenjuju ih ovješeni mostovi od kojih su neki bili izgrađeni već početkom 19. stoljeća. Ali budući da ni oni nisu imali dovoljno čvrstu kolničku ploču, a nisu imali ni nosive kablove koji bi pridonosili čvrstoći konstrukcije, i oni su se jako brzo srušili: most na rijeci Tweed 1818., te most na rijeci Saale 1825. godine, što je dovelo do gubitka povjerenja u takav tip konstrukcije. Krajem stoljeća, nekim su se visećim mostovima dodavale vješaljke kako bi se olakšala izgradnja i smanjilo uzdužno savijanje na područjima blizu stupova: most Brooklyn i most Bonhomme na rijeci Blavet su primjeri takvih mostova. U Francuskoj je Gislard razvio sustav jako blizak direktnom vješanju (most Cassagne na željezničkoj liniji Montlouis iz 1909.) koji je ponovno upotrijebljen za izgradnju mosta Lézardrieux na rijeci Trieux

1924. godine. Sustav je ispitan na dvjema revolucionarnim betonskim konstrukcijama: akvadukt Tampul kojeg je u španjolskoj izgradio Eduardo Troja, te most preko kanala Donzère-Mondragon kojeg je 1952. godine izgradio Albert Caquot. Ali upravo su njemački inženjeri u najvećoj mjeri razvili ovakav način gradnje od 1955. godine i razvili ga gotovo do savršenstva pod utjecajem Helmuta Homberga, te posebno Fritza Leonhardta: most u Strömsundu u Švedskoj sagrađen je 1955., u Düsseldorfu 1957., most Severin u Kölnu 1959., u Leverkusenu 1965. godine.

Izum betona

Još jedno veliko poglavlje u povijesti gradnje otvorilo se početkom 19. stoljeća izumom armiranog, a kasnije i prednapregnutog betona. Već su stari Rimljani koristili hidraulična veziva poput vapnenog morta te hidrauličnog vapna, ali se tehnika izgubila zbog velikih osvajanja te su graditelji počeli koristiti samo masno i mršavo vapno za gradnju zidanih mostova. Krajem 18. stoljeća su Chaptal u Francuskoj i Parkes u Engleskoj ponovo otkrili prirodna veziva (pucolane, vapnenačke stijene otoka Sheppy), a 1818. godine Vicat je izumio umjetno dobiveni cement. No upravo je Apsidin, engleski inženjer, patentirao umjetni Portland cement 1824. godine. Iako su još od doba razvijene antike bile poznate prijašnje primitivne armature kojima su se učvršćivale zidane konstrukcije, armirani beton je tek oko 1850. godine izumio Lambot, koji je izradio brod od armiranog betona s rešetkom od željeznih šipki i patentirao izum 1855. g. (usp. BETON). François Coignet je 1852. g. koristio željezne profile umetnute u beton kako bi izgradio kuću u Saint-Denisu. Ali je tek treći Francuz, Joseph Monier, koji je radio kao vrtlar u Versaillesu, od armiranog betona napravio pravi građevinski materijal: počeo je izrađivanjem i patentiranjem posuda za cvijeće od armiranog betona s okruglim željeznim šipkama (1867.), zatim je patentirao izum za cijevi, mostove i pješačke mostove (1873.) te za grede (1878.). Francuz François Hennebique sagrađio je prve velike konstrukcije: prva ploča od armiranog betona 1880. g., prvi veliki most od armiranog betona u Châtelleraultu 1899. g. (most s tri luka od 40, 50 i 40 m raspona), te slavni lučni most Risorgimento u Rimu preko rijeke Tiber koji 1911. g. postaje dotad najveći zidani luk s rasponom od 100 m. Iako su ovi vrhunski izumitelji mogli jako brzo graditi pomoću armiranog betona, funkcioniranje tog materijala postupno su shvaćali i modelirali tek njemački (Koenen, Mörsch), švicarski (Ritter) i francuski inženjeri (Considère, Mesnager, Harel de La Noe i Rabut): beton puca u napregnutim zonama konstrukcije na kojima može izdržati samo dodatna armatura koja je adhezijom vezana za beton.

Od početka 20. stoljeća, veoma se razvilo korištenje armiranog betona u izgradnji pokrovne ploče mosta, pločastih, okvirnih, rešetkastih mostova (poput mosta u ulici La Fayette u Parizu kojeg je 1928. g. sagradio Albert Caquot) ili lučnih mostova s preuzetim potiskom koji imaju specifičan oblik (poput mosta u dolini Mèlègue u Tunisu kojeg je 1927. g. izgradio Henri Lossier, te mosta Coudette kojeg je Nicolas Esquillan dovršio 1943. g.). Sve te rešetkaste konstrukcije gradile su se po uzoru na metalne mostove, no beton se pokazao nepodoban za ovakav tip strukture u kojem su brojni dijelovi napregnuti: pješački most Ivry na rijeci Seni služi kao ekstreman primjer. Armirani beton najčešće se koristio za lučne mostove za koje je beton, koji je otporan na tlačno opterećenje, posebno prilagođen. Lukovi se počinju sve više spuštati: 1911. godine Eugène Freyssinet gradi most Veurdre preko rijeke Allier s tri luka od 68, 72,5 i 68 m raspona, sa zgobovima smještenima u tjemenu lukova. Freyssinet tada otkriva puzanje betona: spuštanje luka koje se događa uklanjanjem skele proizvodi elastično skupljanje koje tijekom vremena postaje dva, do tri puta veće; dolazi do puzanja betona pod opterećenjem, čemu se pridodaju i učinci hidrauličnog stezanja. Kako bi ispravio te neočekivane deformacije, Freyssinet koristi hidrauličku prešu na zglobovima lukova. Nakon toga će uslijediti rekordi: most Caille preko klanca Usses od 137,50 m (Caquot, 1928.); most Plougastel preko rijeke Elorn s tri luka od 172 m otvora (Freyssinet, 1930.); most preko rijeke Esla u Španjolskoj od 192,4 m (1942.); most Sandö u Švedskoj koji je bio veliki korak naprijed s otvorom od 264 m (1943.); most Arrabida u Portu od 270 m (1963.); most koji prelazi preko rijeke Parana između Brazila i Paragvaja od 290 m (1964.); te most Gladesville u Sydneyu od 304,8 m (1964.).

Prednapregnuti beton, izum kojeg je 1928. godine patentirao Eugène Freyssinet, počeo je zamjenjivati armirani beton sredinom pedesetih godina. Radi se o betonskoj strukturi komprimiranoj čvrsto nategnutim kablovima; danas se koriste prednapregnute niti i užad čija vlačna čvrstoća iznosi oko 1 800 Mpa i koji su nategnuti više od 1 400 Mpa. Na početku korištenja prednapregnutog betona, Freyssinet je naprezao niti od 5 mm promjera i 800 Mpa; takvo jako početno naprezanje bilo je neophodno kako prednapinjanje nebi nestalo zbog puzanja ili skupljanja betona, te opuštanja čelika. Ako je prednapinjanje dovoljno snažno i dobro postavljeno, svi dijelovi betona ostaju komprimirani; beton više ne puca i konstrukcija postaje sposobna podnijeti teret koji, ukoliko nema drugih opterećenja, stvara vlačnu silu. Kako bi kablovi mogli biti napregnuti, smještaju se u cijevi umetnute u beton, koje su injektirane u mort nakon naprezanja kablova i njihovog sidrenja na krajevima; takvo injektiranje omogućuje rekonstrukciju adhezije i osigurava zaštitu od korozije. Zahvaljujući pametnom raspoređivanju prednapregnutih kablova, postalo je moguće graditi

zahtjevne strukture te razviti metode konstrukcije koje kod korištenja armiranog betona nisu bile moguće. Prva Freyssinetova ostvarenja potječu iz predratnog vremena: širenje luke u Havreu 1934. godine, cjevovodi za radove u dolini Fodda u Alžiru 1936. g. I nekoliko konstrukcija u Njemačkoj zaslužuje biti spomenuto: most preko kolodvora Aue s vanjskim prednapregnutim šipkama (Franz Dishinger, 1936.) – ali tu se još ne radi o pravom prednapinjanju zbog slabe granice elastičnosti korištenih šipki: gubitci zbog puzanja i skupljanja betona su jako važni pa je trebalo ponovo napregnuti šipke na mostu Aue 1962. i 1983. g.; cestovni most Oelde u Westfaliji sa šipkama prednapregnutim prije izlijevanja betona (Wayss i Freitag, 1938.); te most Rheda-Wiedenbrück također s vanjskim prednapregnutim šipkama (Finsterwalder, 1938.).

Pravi razvoj prednapregnutog betona dogodio se nakon rata izgradnjom mosta Luzancy na rijeci Marni koji je započet 1941., a dovršen 1946. godine, te još pet drugih Freyssinetovih mostova na Marni između 1947. i 1950. (Esbly, Annet, Trilbardou, Changis et Ussy); radi se o konstrukcijama s rasponom na malim kosim razuporama čija je duljina bila 55 m na mostu Luzancy te 74 m za pet ostalih mostova. Mostovi s kontinuiranim rasponom od predgotovljenih prednapregnutih ploča ispod kolnika postaju sve brojniji nakon rata: most Bourg d'Oisans od 42 m iz 1946.; most preko jezera Ponchartain u Sjedinjenim Američkim Državama dug 38 km koji je sastavljen od 2 232 raspona po 17 m, iz 1956. godine. Od 50-ih godina 20. stoljeća Ulrich Finsterwalder u Njemačkoj razvija postupak gradnje slobodnom konzolnom gradnjom (mostovi Balduinstein i Neckarrens iz 1950., Worms iz 1952., te Coblenca iz 1953.): svaki rasponski sklop gradi se simetrično u odnosu na svoj stup, a na rubovima su postavljene pokretne skele; kada beton očvrstne, natežu se kabeli za prednaprezanje na oba kraja rasponskog sklopa kako bi se sandučasti nosači priljubili i osigurala čvrstoća; zatim se pokretne skele pomiču dalje kako bi se ponovio postupak. Ta tehnika, koju je u Francusku uveo Jean Courbon, koristila se za izgradnju mosta Chazey 1957. godine, te mostova Beaucaire i Savine. Kod tih prvih konstrukcija, rasponski sklopovi bili su spojeni na svoje stupove, a rasponi su imali zglobove u tjemenu, no slabo poznavanje prednapregnutog betona na počecima te učinka skupljanja, a posebno puzanja betona (koji stvara preraspodjelu hiperstatične sile) imalo je kao posljedicu značajne deformacije: spuštanje tjemena čak za nekoliko desetaka centimetara na mostu Bendorf preko rijeke Rajne (Finsterwalder, 1964., sa središnjim rasponom od 208 m), pa je bilo potrebno srušiti nekoliko takvih mostova. U Francuskoj se tehnika poboljšala razvojem kontinuiranih greda, a pogotovo razvojem predgotovljenih spojenih sandučastih nosača. Segmenti sandučastog mosta predgotovljuju se na stolovima u položaju koji će imati u konstrukciji, te se

oblikuju novi sandučasti nosači po kalupu prethodnog kako bi se dobili sasvim jednaki oblici. Zatim ih se, uz sloj ljepila, postavlja na međusobne spojnice i ležajeve kako bi se omogućio prijenos sile; otpornost se dakle postiže prednapregnutim kablovima (most Choisy-le-Roi iz 1965., most Oléron iz 1966.).

Najveći mostovi koji su bili izgrađeni metodom slobodne konzolne gradnje su na zaljevu Urado (230 m) i Hamana (240 m, 1977.) u Japanu, te most u Brisbaneu u Australiji (260 m, 1986.). Dva velika mosta u Francuskoj su Gennevilliers (1976.) i Ottmarsheim (1979.) s rasponom od 172m.

U Njemačkoj su se razvijale druge metode gradnje: gradnja raspon po raspon korištenjem lansirne skele te gradnja navlačenjem. Prva metoda koristi veoma teški metalni sklop (od 200 do 600 t ovisno o duljini mosta i veličini kolnika), koji se može pomicati naprijed samo oslanjajući se na već izgrađene dijelove konstrukcije; jednom kada se postavi, skela može prenijeti težinu sljedećeg raspona (most Bremeke i u Francuskoj, vijadukti na autocesti Roquebrune-Menton iz 1970.). Trošak lansirne skele doveo je do razvoja tehnike navlačenja koju je osmislio Fritz Leonhardt (most na rijeci Caroni u Venezueli iz 1964.): konstrukcija se betonira na tlu iza jednog od upornjaka pa se dio po dio gura naprijed pomoću hidrauličkog cilindra kako bi se spojila u cjelinu, i to u slijedu koji odgovara fazama betoniranja, nakon izgradnje jednog dijela ili dovršenja jednog raspona. Postoji nekoliko načina pomoću kojih se radi u određenim nepovoljnim fazama naguravanja (pomoću čeličnog kljuna, pomoćnih zatega ili privremenih stupova). Ta tehnika, koju je u Francusku uveo Spie Batignolles, poslužila je pri izgradnji akvadukta Abéon 1968., vijadukta Boivre blizu Poitiersa 1970., onih u Lucu, Varu, Oliu i Nuecu na autoceti A8 blizu Nice od 1972.do 1978., i od tada se naveliko koristila. Upravo su tom metodom izgrađeni veliki vijadukti od prednapregnutog betona na liniji Pariz-Jugoistok brzog vlaka (vijadukti Roche, Digoine, Serein i Saône), zatim na liniji Atlantique T.G.V.-a (vijadukti Vouvray i Cher).

Razvoj prednapinjanja i slobodne konzolne gradnje dao je novi poticaj izgradnji lučnih konstrukcija, posebno pod utjecajem inženjera Ilije Stojadivovića i Stanka Srama. Umjesto betoniranje luka na skelama, koje je iznimno skupo, oni su izgradili lukove u Šibeniku (256 m, 1964.), na Pagu (193 m, 1966.) te prvenstveno na Krku (244 i 390 m, 1979.) pomoću slobodne konzolne gradnje od upornjaka, pridržavajući konzole privremenim zategama usidrenima u stijeni na obali. Ideja, porijeklom iz Velike Britanije, naveliko se proširila u Austriji, Njemačkoj, Japanu, Južnoj Africi i u Francuskoj (most Trellins, 1985., i most preko rijeke Rance, s otvorom od 260 m). Jedno drugo rješenje osmislio je Ricardo Morandi; sagraditi obe polovice luka pomalo okomito, kao

što se radilo kod montiranja nekih armiranobetonskih lukova, pa ih zatim nagnuti jednog prema drugome pridržavajući ih kablovima (pješački most Lussia i most Storms River u Južnoj Africi); ideja je ponovo preuzeta u Njemačkoj (Argentobelbrücke, 1985.).

Naposljetku, prednapregnuti beton omogućio je izgradnju i nekih visećih mostova (most Mariakerke u Belgiji, a posebno brojnih ovješanih mostova. Upravo je talijanski inženjer Morandi izgradio prve velike konstrukcije od teških oblika i skupih materijala te s malim brojem vješaljki (most na jezeru Maracaibo iz 1962., raspona 235 m; most Wadi Kuf u Libiji s rasponom od 282 m iz 1972.). Prvi veliki ovješani most od prednapregnutog betona je most Brotonne kojeg su sagradili Jean Muller i Jacques Mathivat (raspon 320 m, 1977.) sa sustavom vješanja preuzetim od Hombergovih ideja za metalne mostove.

3 Moderni mostovi

Danas se mostovi najčešće grade od čeličnih greda, miješanog čelično-betonskog kostura ili onog od prednapregnutog betona. Veliki rasponi ostvaruju se visećim i ovješanim konstrukcijama, dok se za male raspone, manje od 12 m, koristi armirani beton.

Gredni mostovi

Metalne rešetkaste grede u Europi su bile gotovo potpuno napuštene u korist struktura s punostijenim gredama. Bila je to posljedica povijesnog razvitka troškova rada i materijala. Cijena rada do Drugog svjetskog rata bila je poprilično mala, dok je cijena materijala, pogotovo čelika, bila jako visoka. Stoga je bilo zanimljivo graditi rešetke koje omogućuju osjetne uštede na materijalu, na uštrb kompleksnog montiranja. No, s povećanjem cijene rada i padom cijena materijala, situacija se preokrenula. Još je i poboljšanje mehaničkih osobina čelika ograničilo količinu potrebnog materijala što je dovelo do manje kompliciranih struktura. Metalni su se mostovi stoga u velikoj većini gradili s punostijenim nosačima. Dolazi i do gradnje mostova s bočnim rešetkastim gredama tipa Warren ukoliko je malo prostora između prepreke koju treba premostiti i razine kolovoza. Grade se rešetkaste konstrukcije i za jako velike raspone, posebno u Japanu, budući da rešetka još uvijek omogućuje uštede na materijalu. Gredni mostovi s punostijenim nosačima imaju gotovo jednaku strukturu, bilo da se radi o konstrukcijama s čeličnom ortotropnom pločom ili o mostovima s miješanim kosturom i glavnom betonskom pločom. Ploča, ortotropna ili betonska, sastavni je dio gornjeg pojasa, dovršenih s elementima I presjeka ili sandučastim presjekom. Konstrukcije s

miješanim kosturom često su sastavljene od brojnih greda koje su povezane ispunom; danas se teži građenju mostova s dvije grede. Kada je kolnik uzak, te su grede povezane jednostavnim ispunom. No kada se most širi, poprečne sile se povećavaju i ploča se poprečno prednapreže, kao kod vijadukta Somme na autocesti A26. Za velike i jako velike konstrukcije, glavne se grede mogu umnogostručiti ili povezati s dvije glavne grede pomoću dijelova mosta koji nose gornju betonsku ploču i to na razmaku od tri do četiri metra, tada betonska ploča radi samo u uzdužnom smislu. Kod čeličnih mostova, mogućnosti su smanjene: dvije glavne grede obavezno moraju biti povezane dijelovima mosta koji podupiru korito, poput vijadukta Autreville. Za značajne raspone ili kada je potrebna velika torzijska krutost kod zakrivljenih ili mostova vrlo oštih linija te zbog estetskih razloga, grede I presjeka zamjenjuju se onim sandučastima. Ali važnost tlačnog naprezanja je u donjem sloju i na područjima blizu nosača. Potcjenjivanje rizika izvijanja donjih slojeva sandučastih nosača dovelo je do teških nesreća 70-ih godina 20. stoljeća (urušavanje mosta u Beču na Dunavu za vrijeme gradnje 1969., mosta Milford Haven 1970., mosta u Melbourne-u 1970.). Možemo nabrojiti brojne francuske mostove s ortotropnom pločom ili s više sandučastih nosača: most Chaumont na rijeci Loire (121,6 m; most Alma u Parizu (110 m, 1970.); most Cornouailles u Bénodetu (200 m, 1973.). Ali i mostove s miješanim kosturom: most Belleville (84 m, 1970.); vijadukt Chiers u Longwyu (110 m, 1985.). Ukoliko je njihov raspon umjeren, manji od otprilike 100 m, takve konstrukcije najčešće se grade pomoću lansirne skele ili naguravanjem. Kada sa radi o mostu s ortotropnom pločom, on se naravno lansira s pločom, no kad se radi o konstrukcijama miješanog kostura, metalni kostur lansira se sam i tako se određuju dimenzije gornjeg sloja greda ili sanduka, a zatim se postavlja armiranobetonska ploča. Kasnije su švicarski inženjeri osmislili postavljanje predgotovljene ploče na već postavljenu metalnu konstrukciju.

Oblici mostova od prednapregnutog betona također su ovisili o ekonomskom razvoju. Između dva rata, kolnici konstrukcija od armiranog betona često su se gradili od brojnih longitudinalnih greda koje su bile gusto raspoređene, a bile su povezane ispunom koja je tvorila dio mosta. Povećanjem cijena rada, posebno cijena pokrivanja mosta, te smanjenjem cijena materijala, bilo je poželjnije graditi malo masivnije konstrukcije jednostavnijih oblika. To objašnjava uspjeh mostova od prednapregnute ploče. Za male raspone, do 15 ili 20 m, gradile su se pune ploče. Kada je raspon malo veći, trebalo je povećati debljinu ploče, pa kako ne bi njihovo vlastito opterećenje postalo preveliko, trebalo im je nekako smanjiti težinu. Dolazi do stvaranja ploča s konzolama, koje postupno, za raspone od oko 20 do 35 m, prelaze u rebra taloženjem materijala u jednom ili više

rebara. Rebra postaju sve viša i stanjuju se, pretvarajući se u prave pune ploče kada raspon doseže 40m. Ali geometrijski koeficijent, koji se izražava u mehaničkom učinku odjeljka u odnosu na svoju težinu, jako se sporo povećavao, prelazeći s 0,33 za punu ploču do otprilike 0,42 za ploču s rebrima. Za gradnju mostova raspona većih od 50 m, trebalo je koncentrirati materijal na ekstremnim vlaknima, nauštrb komplikacija kod oplata mosta. To je dovelo do sandučastih odjeljaka koji su mnogo učinkovitiji, ali čija je proizvodnja malo teže i skuplja. Njihov geometrijski koeficijent iznosi od 0,55 do 0,65. I tako zbog ekonomskog pritiska dolazi do gotovo savršene veze između raspona mosta i oblika poprečnog presjeka. Metoda građenja pritom dolazi kao pomoć u izboru poprečnog presjeka. Ako se konstrukcija betonira na skeli ili lansirnoj skeli, raspodjela momenata savijanja pod vlastitom težinom je blizu idealne; mogu se dakle projektirati mostovi s rebrima za raspone malo veće od 50 m. Ako se most gradi slobodnom konzolnom gradnjom, dolazi do značajnih negativnih momenata težine na stupove, neposredno prije montiranja rasponskog sklopa; sandučasti presjek koji je mnogo učinkovitiji, nameće se kao logično rješenje. Na kraju, ako se most gradi naguravanjem, dolazi do značajnih momenata savijanja za vrijeme guranja, pozitivnih ili negativnih; stoga treba projektirati visoke presjeke, malo više nego za ostale metode gradnje, koji do 40 m mogu biti rebrasti, a za veće raspone od toga moraju biti sandučasti.

Razvoj predgotovljavanja donekle je promijenio tu ravnotežu: cijena rada je manja u tvornici nego na gradilištu, a i rezultati su bolji; osim toga, potrebno je smanjiti težinu dijelova kako bi se smanjili troškovi opreme za održavanje, prijevoza i montiranja. Mostovi koji se grade od predgotovljenih elemenata, bilo da se radi o pločama ili sanducima, imaju smanjene i kompleksnije oblike kako bi se smanjila težina dijelova. Tvrtka Bouygues je čak osmislila grede od prednapregnutih betonskih rešetki (most Bubiyan u Kuvajtu iz 1983.; vijadukti Sylans i Glacières na autocesti A40, iz 1988.), ali ušteda na materijalu ne nadoknađuje vrlo visoku cijenu montiranja.

Širina mosta također utječe na projektiranje poprečnog presjeka, posebno u slučajevima sandučastih mostova s rasponom većim od 50 m. Krajem 60-ih godina 20. stoljeća, klasično rješenje bilo je projektiranje jednog sanduka s dva rebra za mostove širine 10-ak metara, jednog sanduka s tri rebra za mostove širine od 12 do 16 m (most Oissel na Seni, 1978.), te gradnja kolnika pomoću paralelnih sanduka s dva rebra (vijadukt Calix u caenu, 1974., ili čak tri paralelna sanduka za jako široke mostove (most Saint-Jean u Bordeauxu, 1968.). Konstrukcije na autocestama često su se gradile od dva međusobno neovisna paralelna mosta, od kojih je svaki imao svoj kolnik (most Ottmarsheim, 1979.). Tijekom 70-ih godina 20. stoljeća, pokušavalo se proširiti područje upotrebe

sanduka s dva rebra za širine od oko 14 ili 15 m, i tri rebra za širine od oko 20 m, s ciljem smanjenja težine strukture smanjenjem broja rebara zbog štednje. Inženjeri su stoga pokušali generalizirati upotrebu sanduka s dva rebra bez obzira na širinu, uređenjem njihovih karakteristika kako bi se osigurala otpornost na poprečno savijanje: danas se grade široki sanduci s dva rebra koji iznad imaju poprečno napregnutu debelu ploču (vijadukt Poncin, 1986.); široki sanduci s dva rebra s pločom s poprečnim rebrima iznad (most Saint-André-de-Cubzac, 1978.; vijadukt Ponts-de-Cé; most Saumur; vijadukt Arrêt Darré; razuporni most Auray, 1988.; most Cheviré); te sanduci s dva rebra čije velike konzole podržavaju tanke kose pregrade, kontinuirane ili isprekidane, koje izgledaju poput dodatnih rebara (vijadukt i most na liniji Marne-la-Vallée R.E.R.-a, 1977.; konstrukcija br. 36 na autocesti u Marseillesu, 1986.) ili podržani pravokutnim napravama udaljenima tri do četiri metra (Erschachtalbrücke i Kochertalbrücke u Njemačkoj). Zahvaljujući tom tehničkom razvoju, danas se za autoceste najviše koriste mostovi kontinuiranog kolnika velike širine, ne samo zbog uštede, nego i zbog boljeg estetskog dojma i uklapanja u prostor.

Tehnika prednaprezanja se također razvija. Na počecima prednapinjanja, mnogi su mostovi bili izgrađeni s vanjskim kablovima (već spomenuti njemački mostovi; mostovi Villeneuve-Saint-Georges, Vaux-sur-Seine, Port-à-Binson i Can Bia u Francuskoj, oko 1950.; Magnelovi mostovi u Belgiji...), ali tehnologija unutarnjih kablova koju je uveo Freyssinet, naveliko se prihvatila. Vanjsko prednapinjanje ponovno je dobilo na ugledu oko 1980. godine zahvaljujući Jeanu Mulleru u Sjedinjenim Američkim Državama (mostovi u Florida Keysu: Long key, Channel Five, Niles Channel i Seven Mile ; vijadukti i most Sunshine Sky u Tampi). Vanjski prednapregnuti kablovi se uglavnom sidre u ispunama koje učvršćuju sanduk iznad stupa, te zakrivljene na rasponima zbog izbočina betona ili ispune, kako bi dobile idealnu trasu. No oni se ne mogu postavljati prije dovršenja izgradnje raspona. Mostovi se dakle mogu graditi raspon po raspon uz pomoć skele (vijadukt metroa u Lilleu), brojnih pomoćnih pregrada (vijadukt Saint-Aignant), pomoćne grede (vijadukti Mass Transit System Atlanta) ili privremenih zatega (vijadukti Vallon des Fleurs i Banquière; vijadukt Frébuje). Mogu se graditi slobodnom konzolnom gradnjom uz uvjet postavljanja unutrašnjeg prednapinjanja pri gradnji rasponskih sklopova koje dovodi u ravnotežu negativne momente vlastitog opterećenja (most Chinon na rijeci Vienne); ta metoda omogućava također korištenje rotacije rasponskih sklopova, izgrađenih na pomoćnim gradilištima paralelno uz rijeku (most na rijeci Loire u La Flèche), ili montiranje naguravanjem dviju polovica konstrukcije, napravljenih na tlu sa svake strane obale (most Cergy-Pontoise). Mostovi se također montiraju naguravanjem uz uvjet da se

uključi središnje prednapinjanje za vrijeme naguravanja, koje će povezati konačne vanjske kablove i onim privremenima, vanjskim ili unutarnjim (vijadukt na rijeci Somem u Amiensu; vijadukt Charix).

Napredak u proizvodnji betona rezultirao je još jednim napretkom. Tijekom 70-ih godina 20. stoljeća, postojali su brojni pokušaji razvijanja upotrebe laganih betona, ali zbog velike količine energije koja je potrebna za dobivanje, izgubio se ekonomski interes za ovo rješenje. Nedavno se pod utjecajem napredaka koji su na tom području ostvareni u SAD-u i skandinavskim zemljama, razvila upotreba betona visokih performansi, te pogotvo korištenje betona u kojima je dio cementa zamijenjen silicijevim dioksidom. Njihova otpornost iznosi od 60 do 80 Mpa, a može dostići i 100 Mpa u određenim uvjetima; u Francuskoj su se tek nedavno počeli koristiti, no izgradnja mosta na otoku Ré koji je završen 1988., jasno je pokazala njihovu veliku zanimljivost.

Viseći i ovješeni mostovi

Naposljetku, samo su moderni viseći ili ovješeni mostovi prikladni za izgradnju mostova s velikim rasponima. Ovješeni mostovi postaju isplativiji od grednih za mostove raspona od oko 200 m i više. No događa se i da se grade viseći ili ovješeni mostovi manjih raspona zbog estetskih razloga ili nekih određenih ograničenja. Pješački i biciklistički mostovi su posebno zanimljivo područje ovješениh mostova: most u Havreu s kolnikom kombiniranog kostura; pješački mostovi od prednapregnutog betona Meylan preko rijeke Isère blizu Grenoblea (1978.), te mosta Illhof preko rijeke Ill blizu Strasbourga (1979.), koji su betonirani na obali paralelno uz rijeku i postavljeni rotacijom stupova. Jorg Schlaich je također izgradio u Stuttgartu dva viseća pješačka mosta, od kojih onaj preko rijeke Neckar ima kolnik od tanke armiranobetonske ploče.

Mnogi ovješeni mostovi koji su posljednjih godina izgrađeni od prednapregnutog betona, bili su jako nadahnuti mostom Brotonne s mrežom kosih vješaljki sandučastim poprečnim presjekom; dovršen sustavom naprava koje omogućavaju prijenos vlačne sile vješaljki na dno sanduka: most Coatzacoalcos u Meksiku (1984.) i most Sunshine Sky u Tampi, Florida (1986.), oba sagrađena slobodnom konzolnom gradnjom; most Ben Ahin, postavljen rotacijom oko svog pilona po uzoru na pješačke mostove Meylan i Illhof (1987.); most u Wandreu na rijeci Meuse u Belgiji, montiran naguravanjem uz pomoćne stupove iz 1987. No uvođenje brojnih raspoređenih vješaljki omogućuje projektiranje kolnika puno manje inercije; i premještanje mreže vješaljki kako bi se neposredno uravnotežila torzija, dopuštaju izgradnju kolnika male torzijske krutosti. Most Pascoe Kennewick iz 1979. godine je most na kojem su se prvi put primjenile te ideje: poprečni presjek sastoji se od dva

mala trokutasta sanduka, povezanih pločom s ispunom. To je rješenje logično dovelo do gradnje kolnika s dva bočna rebra, povezanih tankom pločom i ispunama koje su sastavni dio mosta: most Quincy s metalnim ispunama, te Dames Point u Jacksonvillu u Floridi sa središnjim rasponom od 400 m (1988.). René Walther i Jorg Schlaich otišli su do kraja u osmišljavanju ploča za ovješene mostove: most Dieppoldsau u Švicarskoj iz 1986. godine, Akkar Bridge u Sikkimu iz 1988., te most Evripos u Grčkoj iz 1990. godine sa središnjim rasponom od 215 m. Svjetski rekord trenutno drži most Barrios de Luna (1986.) preko rijeke Ebre u Španjolskoj, s rasponom od 440 m.

Najstariji ovješeni metalni mostovi imali su ortotropnu ploču mosta: most Saint-Nazaire (1975.) dugo je držao svjetski rekord s rasponom od 404 m i s ortotropnim gotovo pravokutnim sandukom; most Faro u Danskoj im malo profiliraniji presjek, ali sličnog oblika. Kniebrücke u Düsseldorfu iz 1969. i most Düsseldorf Flehe iz 1979., imaju samo jedan pilon; s rasponima od 320 i 368 m imaju najveće ovješene rasponske sklopove na svijetu, te najduže kablove koji prelaze 300 m. Posljednjih desetak godina, kolnici s ortotropnim sandukom – ili greda spojenih ortotropnom pločom i ispunama- zamjenjeni su kolnicima kombiniranog kostura. Trenutni svjetski rekorsrd drži most Anacis u Kanadi s rasponom od 465 m (1986.); kolnik je sastavljen od svije bočne grede male visine, spojenih metalnim djelovima mosta i armiranobetonskom pločom od predgotovljenih elemenata. U Francuskoj je most Seyssel (1987.) jedini preostali primjer mosta tog tipa.

Nekoliko rijetkih mostova spaja prednapregnuti beton i metalne konstrukcije. To je slučaj mosta Tampico u Meksiku kod kojeg su prilazni rasponi sa svake strane od prednapregnutog betona kao i počeci velikog raspona čiji je središnji dio ortotropni sanduk: To je također slučaj mosta u Normandiji na Seni između Havrea i Honfleura čija je izgradnja započela 1989. i završila 1995. godine; on drži novi svjetski rekord sa središnjim metalnim rasponom od 856 m s profiliranim ortotropnim sandukom. Piloni su visoki 215 m.

Mnogi stručnjaci smatraju kako je ovješene mostove moguće graditi do raspona od 1500 m. no viseći mostovi još uvijek imaju prednost pri izgradnji jako velikih raspona, od 800 m naviše. Danas se oko tog pitanja suprotstavljaju dvije velike škole. S jedne strane je američka škola s mostovima čiji su kolnici od metalnih rešetki velikih dimenzija i često se prometuje na dvije etaže: most Mackinac, kojeg je 1957. izgradio D.B. Steinman preko tjesnaca koji razdvaja jezero Michigan od jezera Huron, je prvi veliki most sagrađen nakon rušenja mosta Tacoma sa središnjim rasponom od 1158 m; malo nakon njega izgrađen je most Verrazzano u New Yorku (1298 m, 1964.). Američka škola je uvelike nadahnula izgradnju u Europi: most Tancarville, izgrađen 1959. pod vodstvom

Marcela Hueta, nekoliko je godina držao europski rekord sa 608 m; zatim slijedi most Firth of Forth (1006 m, 1964.), pa most na rijeci Tage u Lisabonu (1013 m, 1966.). Veliki japanski viseći mostovi slijedili su ista načela: most Kammon (712 m) bio je samo prototip jedne dojmljive serije budući da je 12-ak mostova premašilo ili će premašiti taj raspon; središnja veza između glavnog otoka Honshu i otoka Shikoku broji tri takva mosta; most Shimotsui Seto (940 m) i južni i sjeverni most Bisan-Seto (990 m i 1100 m), svi su dovršeni 1988.; veza između Honshua i Shikokua donijet će još jedno izvanredno djelo, preko tjesnaca Akashi Kaikyo, čiji će se raspon približiti brojki od 2000 m, a čija je gradnja započela 1989. godine.

Druga škola je engleska, veoma nadahnuta radovima Fritza Leonhardta koje on nikada nije uspio sasvim ostvariti. Dvije su glavne ideje u projektiranju; prva se sastoji od zamjenjivanja rešetkastih kolnika klasičnih visećih mostova tankom ortotropnom pločom sandučastog presjeka, čiji će profil omogućiti smanjenje opterećenja koje stvara vjetar i osigurati aeroelastičnu stabilnost. Druga ideja je korištenje kosih umjesto okomitih vješaljki, što bi zajedno s nosivim kablovima i kolnikom tvorilo rešetkastu gredu promjenjive visine kako bi se dobro rasporedilo prometno opterećenje. Prva primjena bila je pri izgradnji mosta na rijeci Severn u engleskoj 1966. godine (988 m), zatim je uslijedio most na Bosporu u Istanbulu 1973. godine (1074 m), zatim most na rijeci Humber (1410 m) 1981. godine, koji trenutno drži svjetski rekord po dužini raspona. Sve mostove projektirao je ured Freeman, Fox & Partners. Drugi most na Bosporu je dovršen, ali s okomitim vješaljkama jer su se na mostu Severn uočile nepravilnosti na vješaljkama pa ih je trebalo zamijeniti.

Danas se osmišljaju brojna rješenja za izgradnju mostova raspona 2000 m i više. Premošćivanje velikih tjesnaca je prilika za razvijanje takvih ideja; projekti za mostove koji bi premostili tjesnac Messine, La Manche, Gibraltar i Patras su prototipovi velikih konstrukcija 21. stoljeća.

4 Posebne vrste mostova

Neki su mostovi sasvim posebni, kako zbog svoje funkcije, tako i zbog načina na koji rade.

Kanali se danas rijetko grade jer su moderni navigacijski putevi sve više ograničeni niskim dolinama velikih rijeka: u Francuskoj je kanal u Toulouseu jedini noviji primjer.

Pokretni mostovi su mnogo brojniji. Postoji više tipova takvih mostova. Pokretni most podizanjem sastoji se od što laganijeg kolnika od metalne rešetke i dva tornja koji stvaraju protutežu koja dovodi masu kolnika u ravnotežu. Spuštanje protuteže omogućava brzo dizanje kolnika kako bi

se pustio prolaz brodovima. Najveći pokretni mostovi podizanjem u Francuskoj su most Recouvrance u Brestu (88 m, 1954.), te most Martrou na rijeci Charente (92 m, 1966.) Pokretni most otvaranjem sastavljen je od jednog ili dva uravnotežena rasponska sklopa sa što laganijom konzolom kako bi se premostila rupa koja je uravnotežena protutežom usidrenom odiza u armiranom betonu. Otvaranje rasponskog sklopa oko svoje nosive osi, omogućuje prolaz brodovima. Most Martigues na ulazu u jezero Berre ima dva rasponska sklopa od 27,5 m (1962.); most u Havreu ima samo jedan rasponski sklop od 74 m; a most Bizerte mu je vjerna kopija. Postoje i rotirajući mostovi: uravnoteženi rasponski sklop vrti se oko osi okomite na zemlju, na jednoj obali za male mostove ili s obje strane obale za malo veće raspone, što oslobađa plovni kanal. Može se također simetrično rotirati rasponski sklop oko stupa koji odvaja kanal na dva dijela. Grade se i pokretni mostovi uvlačenjem: rasponski sklop, u paru s protutežom, uvlači se unazad i lagano spušta kako bi se mogao uvući u upornjak od armiranog betona.

7. GLOSSAIRE

A

acier *n.m.* - čelik

aéroélastique *adj.* - aeroelastičan

aérotrain *n.m.* - zračna željeznica

antenne *n.f.* - odvojak autoceste

appui *n.m.* - nosač

aqueduc *n.m.* - akvedukt

arc *n.m.* - luk

armature *n.f.* - armatura

articulation *n.f.* - zglob

~ aux clefs - zglob u tjemenu luka

auget *n.m.* - žlijeb

autoroute *n.f.* - autocesta

avant-bec *n.m.* - čelični kljun

B

barre *n.f.* - šipka

béquille *n.f.* - razupora

béton *n.m.* - beton

~ armé - armirani beton

fissuration du ~ - pucanje betona

fluage du ~ - puzanje betona

~ précontraint - prednapregnuti beton

bossage *n.m.* - izbočina

boulon *n.m.* - matični vijak

C

câble *n.m.* - kabel

~ porteur - nosivi kabel
caisson *n.m.* - sandučasti nosač
chantier *n.m.* - gradilište
charpente *n.f.* - okvirna konstrukcija
chaussée *n.f.* - kolnik
chaux *n.f.* - vapno
~ grasse - masno vapno
~ hydraulique - hidraulično vapno
~ maigre - mršavo vapno
mortier de ~ - vapneni mort
chemin de fer *n.m.* - željeznica
ciment *n.m.* - cement
~ naturel - prirodni cement
~ Portland - portland cement
cintre *n.m.* - svod
~ autolanceur - lansirna skela
coffrage *n.m.* - oplata mosta
contrepoids *n.m.* - protuteža
convertisseur *n.m.* - konverter
~ Bessemer - Bessemerov konverter
cornière *n.f.* - kutno željezo
coussin *n.m.* d'air - zračni jastuk
couverture *n.f.* - obloga mosta
croisement *n.m.* - križanje
culée *n.f.* - upornjak
~ aux naissances - peta mosta

D

dalle *n.f.* - ploča
~ de roulement - kolnička ploča
~ orthotrope - ortotropna ploča

E

échafaudage *n.m.* - skela

échangeur *n.m.* - prometno čvorište

élément préfabriqué *n.m.* - predgotovljeni element

encorbellement succesif *n.m.* - slobodna konzolna gradnja

entretoise *n.f.* - ispuna

équipement mobile *n.m.* - pokretna skela

F

fer *n.m.* - željezo

~ forgé - kovano željezo

fléau *n.m.* - rasponski sklop

flexion *n.f.* - savijanje

~ longitudinale - uzdučno savijanje

~ transversale - poprečno savijanje

fonte *n.f.* - lijevano željezo

G

goujon *n.m.* - vijak

H

hourdis *n.m.* - betonska ploča

hauban *n.m.* - kosa zatega

L

liant hydraulique *n.m.* - hidraulično vezivo

M

moment fléchissant *n.m.* - moment savijanja

moment négatif *n.m.* - negativni moment sile
moment positif *n.m.* - pozitivni moment sile

N

nervure *n.f.* – rebro

O

ossature *n.f.* - kostur mosta

~ mixte - miješani kostur

~ métallique - metalni kostur

P

passage *n.m.* inférieur - podvožnjak

passage *n.m.* supérieur - nadvožnjak

passerelle *n.f.* - pješački most

plaque couvre-joint *n.f.* - prijelazna ploča

platelage *n.m.* - postavljanje ploče

pont *n.m.* - most

~ à béquilles - razuporni most

~ à haubans - ovješeni most

~ à nervures - rebrasti most

~ basculant - pokretni most otvaranjem

~-canal - kanal

~ en bow-string - lučni most s preuzetim potiskom

~ en maçonnerie - zidani most

~ en treillis - rešetkasti most

~ en arc - lučni most

~ en poutre - gredni most

~ levant - pokretni most podizanjem

~ mobile - pokretni most

~ roulant - pokretni most uvlačenjem

~ suspendu - viseći most

~ tournant - rotirajući most

portée *n.f.* - raspon

poussage *n.m.* - naguravanje

poutre *n.f.* - greda

~ à âmes pleines - punostijena greda

pylône *n.m.* - pilon

R

rivetage *n.m.* - zakivanje

route *n.f.* - cesta

S

schéma statique *n.m.* - statička shema

soudage *n.m.* - zavarivanje

suspente *n.f.* - vješaljka

T

tablier *n.m.* - kolnik

tirant *n.m.* - spojnica

tôle *n.f.* - lim

traçage *n.m.* - trasiranje

traction *n.f.* - razvlačenje

les efforts de ~ - vlačna sila

travée *n.f.* - raspon

V

vérin *n.m.* - hidraulički cilindar

viaduc *n.m.* - vijadukt

voussoir *n.m.* - sandučasti nosač

voûte *n.f.* - svod

8. FICHES TERMINOLOGIQUES

terme	travée
catégorie grammaticale	n.f.
collocation(s)	~ centrale
domaine	génie civil
sous-domaine	construction des ponts
définition	partie du pont comprise entre deux appuis successifs
synonyme(s)	portée
hyperonyme	pont
hyponyme(s)	
contexte du terme (+ réf.)	<p>«Le pont à la plus longue <u>travée</u> haubanée du monde a été ouvert ce mercredi 1^{er} août à la circulation dans la ville russe de Vladivostok qui accueillera un sommet de l’APEC (Coopération économique pour l’Asie-Pacifique) en septembre prochain.»</p> <p>Source: http://www.planete-tp.com/russie-le-pont-a-la-plus-longue-a2632.html</p>
équivalent	raspon
catégorie grammaticale	n.m.
source de l'équivalent	Sršen, M. : <i>Terminološki četverojezični rječnik cestovnog inženjerstva s pojmovnikom</i> , aspeCta, Zagreb, 2011.
contexte de l'équivalent (+ réf.)	<p>«U tom je razdoblju građen i most s najvećim <u>rasponom</u> na svijetu Akashi-Kaikyo.»</p> <p>Source: Horvatić, D.: <i>Kobe 1995-1998 i Akashi-Kaikyo most s najvećim rasponom na svijetu</i>, Hrvatsko društvo građevinskih konstruktora, Zagreb, 1998</p>

terme	viaduc
catégorie grammaticale	n.m.
collocation(s)	
domaine	génie civil
sous-domaine	construction des ponts
définition	ouvrage routier ou ferroviaire franchissant à grande hauteur une brèche, ou comportant de nombreuses travées
synonyme(s)	
hyperonyme	pont
hyponyme(s)	
contexte du terme (+ réf.)	«Le viaduc de la Scie est un <u>viaduc</u> enjambant la vallée de la Scie près de Manéhouville...» source : http://fr.wikipedia.org/wiki/Viaduc_de_la_Scie
équivalent	vijadukt
catégorie grammaticale	n.m.
source de l'équivalent	Sršen, M. : <i>Terminološki četverojezični rječnik cestovnog inženjerstva s pojmovnikom</i> , aspeCta, Zagreb, 2011
contexte de l'équivalent (+ réf.)	« <u>Vijadukt</u> Limska Draga izgrađen je 1991. godine radi premošćivanja duboke suhe doline Limske Drage.» source : http://www.bina-istra.com/Default.aspx?sid=957

terme	culée
catégorie grammaticale	n.f.
collocation(s)	
domaine	génie civil

sous-domaine	construction des ponts
définition	appui d'extrémité d'un pont
synonyme(s)	
hyperonyme	appui
hyponyme(s)	culée aux naissances
contexte du terme (+ réf.)	«La distance entre deux <u>culées</u> est appelée ouverture totale du pont.» source: http://topographi.blogspot.com/2011/05/culee-pont.html
équivalent	upornjak
catégorie grammaticale	n.m.
source de l'équivalent	Putanec, V. : <i>Francusko-hrvatski rječnik</i> , Školska knjiga, Zagreb, 2001
contexte de l'équivalent (+ réf.)	«Na stupove <u>upornjaka</u> predaje se opterećenje rasponske konstrukcije te djelovanje nasutog tla iza njih.» source: Radić, J.: <i>Mostovi</i> , Dom i svijet, Zagreb, 2002, p. 264

terme	pont suspendu
catégorie grammaticale	groupe nominal (n.m. + adj.)
collocation(s)	
domaine	génie civil
sous-domaine	construction des ponts
définition	ouvrage métallique dont le tablier est attaché par l'intermédiaire de tiges de suspension verticales à un certain nombre de câbles flexibles ou de chaînes dont les extrémités sont reliées aux culées
synonyme(s)	
hyperonyme	pont à câbles
hyponyme(s)	

contexte du terme (+ réf.)	«Encore aujourd'hui, le pont Golden Gate de San Francisco étonne par sa grâce et sa fiabilité. Il fut à son époque le plus long <u>pont suspendu</u> jamais construit.» source : http://www.infrastructures.com/0799/golden.htm
équivalent	viseći most
catégorie grammaticale	groupe nominal (adj. + n.m.)
source de l'équivalent	Putanec, V. : <i>Francusko-hrvatski rječnik</i> , Školska knjiga, Zagreb, 2001
contexte de l'équivalent (+ réf.)	«Most Golden Gate je bio najveći <u>viseći most</u> na svijetu nakon izgradnje 1937. godine.» source: http://arhiva.nacional.hr/clanak/130560/slavni-golden-gate-bridge-obiljezava-75-obljetnicu

terme	tablier
catégorie grammaticale	n.m.
collocation(s)	
domaine	génie civil
sous-domaine	construction des ponts
définition	partie horizontale de l'ouvrage supportant directement la circulation
synonyme(s)	chaussée
hyperonyme	pont
hyponyme(s)	
contexte du terme (+ réf.)	«Les arcs peuvent être : soit à <u>tablier</u> supérieur, lorsque le tablier est situé au-dessus de l'arc; soit à <u>tablier</u> inférieur, lorsque le tablier est situé au-dessous de l'arc; soit à <u>tablier</u> intermédiaire, lorsque le tablier est situé dans la hauteur de l'arc..» Source: http://www.btb.termiumplus.gc.ca/tpv2alpha/alpha-eng.html?lang=eng&i=1&index=frt&srchtxt=PONT%20ARC%20TABLIER%20INFERIEUR

équivalent	kolnik
catégorie grammaticale	n.m.
source de l'équivalent	Sršen, M. : <i>Terminološki četverojezični rječnik cestovnog inženjerstva s pojmovnikom</i> , aspeCta, Zagreb, 2011
contexte de l'équivalent (+ réf.)	«U oblikovnom i konstrukcijskom smislu svođeni ili lučni nosivi sustavi omogućuju vrlo raznolike varijacije. Pretežno se izvode s <u>kolnikom</u> gore, dakle povrh luka ali su moguća rješenja da je <u>kolnik</u> u visini peta ili negdje između te dvije mogućnosti.» Source: Radić, J.: <i>Mostovi</i> , Dom i svijet, Zagreb, 2002, p. 207

terme	suspente
catégorie grammaticale	n.f.
collocation(s)	~ verticale ~ diagonale
domaine	génie civil
sous-domaine	construction des ponts
définition	organe reliant les câbles porteurs d'un pont suspendu à la charpente d'un tablier
synonyme(s)	
hyperonyme	câble
hyponyme(s)	
contexte du terme (+ réf.)	«Le tablier sera porté par un système de suspension hybride comprenant : ... - 2 câbles de suspension de 2420 mètres de longueur auxquels seront accrochées 34 paires de <u>suspentes</u> verticales soutenant la partie centrale du tablier.» Source: http://www.planete-tp.com/russie-le-pont-a-la-plus-longue-a2632.html

équivalent	vješaljka
catégorie grammaticale	n.f.
source de l'équivalent	Putanec, V. : <i>Francusko-hrvatski rječnik</i> , Školska knjiga, Zagreb, 2001
contexte de l'équivalent (+ réf.)	«Danas su svi najdulji mostovi na svijetu viseći. Kod tih mostova težinu nose golemi čelični kablovi usidreni u obalu i prebačeni preko visokih stupova. Ti kablovi nose konstrukciju koja s njih visi ovješena o <u>vješaljke</u> .» Source: http://www.skole.hr/ucenici/os_nizi?news_hk=5283&news_id=7095

terme	hauban
catégorie grammaticale	n.m.
collocation(s)	
domaine	génie civil
sous-domaine	construction des ponts
définition	câble soutenant le tablier d'un pont
synonyme(s)	
hyperonyme	câble
hyponyme(s)	
contexte du terme (+ réf.)	« Le 29 mai 2004... l'installation des pylônes débute, suivie de la pose des 154 haubans destinés à soutenir le tablier.» Source: http://www.leviaducdemillau.com/version_html/construction.html
équivalent	kosa zatega
catégorie grammaticale	groupe nominal (adj. + n.f.)
source de l'équivalent	Radić, J.: <i>Mostovi</i> , Dom i svijet, Zagreb, 2002

contexte de l'équivalent (+ réf.)	<p>«Kose zatege u dvije ravnine pridržavaju rasponski sklop na razmaku od 20,0 m kao i u Osnovnom projektu.»</p> <p>Source: http://www.konstruktor-split.hr/reference/tabid/905/a/View/pid/69/Default.aspx</p>
--	--

terme	béton précontraint
catégorie grammaticale	groupe nominal (n.m. + adj.)
collocation(s)	
domaine	génie civil
sous-domaine	construction
définition	béton mis en compression à l'aide de câbles préalablement tendus et bloqués sur le béton
synonyme(s)	
hyperonyme	béton
hyponyme(s)	
contexte du terme (+ réf.)	<p>«Son architecture de vaisseau spatial en <u>béton précontraint</u> et son aménagement lumineux futuriste a été la première performance en France construite sans pilier.»</p> <p>Source: http://evene.lefigaro.fr/culture/lieux/auditorium-maurice-ravel-3759.php</p>
équivalent	prednapregnuti beton
catégorie grammaticale	groupe nominal (adj. + n.m.)
source de l'équivalent	Putanec, V. : <i>Francusko-hrvatski rječnik</i> , Školska knjiga, Zagreb, 2001
contexte de l'équivalent (+ réf.)	«Tek 1992. godine od <u>prednapregnutog betona</u> izgrađen je novi most širine 10,7 metara na visini od 19 metara, a ukupne dužine 129 metara.»

	Source: http://pozeski.hr/licke-vode-drugi-dio/
--	--

terme	liant hydraulique
catégorie grammaticale	groupe nominal (n.m. + adj.)
collocation(s)	
domaine	génie civil
sous-domaine	construction
définition	un produit servant à agglomérer des matières inertes qui se forme et durcit par réaction chimique avec de l'eau et est aussi capable de le faire sous l'eau
synonyme(s)	
hyperonyme	liant
hyponyme(s)	ciment Portland
contexte du terme (+ réf.)	« <u>Liant hydraulique</u> superfluide pour injection destiné à la consolidation des structures en pierre, en briques et en tufeau.» Source: http://www.mapei.com/FR-FR/Produits-pour-la-construction/Mortiers-pour-la-restauration-des-ouvrages-anciens/MAPE-ANTIQUE-F21
équivalent	hidraulično vezivo
catégorie grammaticale	groupe nominal (adj. + n.n.)
source de l'équivalent	http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=64443
contexte de l'équivalent (+ réf.)	«Pojačanje suhих zidova od kamena ili opeke vrši se injektiranjem <u>hidrauličnog veziva</u> postojanog na sulfate, s niskim modulom elastičnosti...» Source: http://www.fidal.hr/web/sanacija_injektiranje--konsolidacija.html

terme	encorbellement successif
catégorie grammaticale	groupe nominal (n.m. + adj.)
collocation(s)	
domaine	génie civil
sous-domaine	construction
définition	la technique de construction qui consiste à construire le pont symétriquement à partir de ses appuis, en ajoutant à chaque étape deux éléments de tabliers identiques qui s'équilibrent
synonyme(s)	
hyperonyme	
hyponyme(s)	
contexte du terme (+ réf.)	«L'emploi très fréquent de la méthode de construction en <u>encorbellement successif</u> témoigne des nombreux avantages de ce procédé qui permet de s'affranchir de tout cintre ou échafaudage.» Source: http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-th3/les-routes-les-ponts-et-les-parcs-de-stationnement-42235210/conception-des-ponts-c4498/ponts-en-beton-precontraint-construits-en-encorbellement-c4498niv10003.html
équivalent	slobodna konzolna gradnja
catégorie grammaticale	groupe nominal (adj. + n.n.)
source de l'équivalent	Radić, J.: <i>Mostovi</i> , Dom i svijet, Zagreb, 2002
contexte de l'équivalent (+ réf.)	«U <u>slobodnoj konzolnoj gradnji</u> skele su znatno kraće, pričvršćuju se za prije izrađeni dio konstrukcije i premještaju postupno, kako gradnja napreduje, korak po korak prema sredini otvora.» Source: : Radić, J.: <i>Mostovi</i> , Dom i svijet, Zagreb, 2002, p. 365

terme	chaux
catégorie grammaticale	n.f.
collocation(s)	
domaine	génie civil
sous-domaine	construction
définition	une matière généralement poudreuse et de couleur blanche, obtenue par calcination du calcaire, industriellement dans un four à chaux
synonyme(s)	
hyperonyme	
hyponyme(s)	chaux vive, chaux éteinte
contexte du terme (+ réf.)	« <u>La chaux</u> est utilisée dans la construction de bâtiments depuis des milliers d'années pour créer un mortier et un plâtre durables.» Source: http://www.graymont.com/fr/marches/construction-de-batiments
équivalent	vapno
catégorie grammaticale	n.n.
source de l'équivalent	Putanec, V. : <i>Francusko-hrvatski rječnik</i> , Školska knjiga, Zagreb, 2001
contexte de l'équivalent (+ réf.)	« <u>Vapno</u> je nesumnjivo najrasprostranjenije i najviše rabljeno vezivo u graditeljstvu od začetaka civilizacije do današnjih dana.» Source: http://www.gradimo.hr/clanak/proizvodnja-i-primjena-vapna/82809

terme	armature
catégorie grammaticale	n.f.
collocation(s)	

domaine	génie civil
sous-domaine	construction
définition	assemblage de pièces de bois ou de métal qui sert à maintenir les diverses parties d'un ouvrage de charpente, de maçonnerie, qui consolide une matière fragile
synonyme(s)	
hyperonyme	charpente
hyponyme(s)	
contexte du terme (+ réf.)	« Le dimensionnement des sections a été réalisé de manière à obtenir un pourcentage d' <u>armature</u> similaire pour les trois charpentes.» Source: http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/25483/ch05.html
équivalent	armatura
catégorie grammaticale	n.f.
source de l'équivalent	Putanec, V. : <i>Francusko-hrvatski rječnik</i> , Školska knjiga, Zagreb, 2001
contexte de l'équivalent (+ réf.)	« Okvirna se konstrukcija proračunava u tri faze: ... 3) definitivni statički proračun konstrukcije na temelju kojega se dimenzioniraju elementi i konstruira <u>armatura</u> . » Source: gradst.unist.hr/Portals/9/PropertyAgent/1167/Files/./11-BK2-Okviri.pdf

terme	pont tournant
catégorie grammaticale	groupe nominal (n.m. + adj.)
collocation(s)	
domaine	génie civil
sous-domaine	construction

définition	un pont dont le tablier peut tourner horizontalement pour le présenter dans l'axe de la voie d'eau qu'il franchit pour permettre aux bateaux de continuer à naviguer sur le canal
synonyme(s)	
hyperonyme	pont mobile
hyponyme(s)	
contexte du terme (+ réf.)	« Les deux ouvertures du <u>pont tournant</u> de 8 h 37 et 10 h 37 sont supprimées. La circulation automobile y gagnera en fluidité.» Source: http://www.ouest-france.fr/une-seule-ouverture-du-pont-tournant-demain-matin-171936
équivalent	rotirajući most
catégorie grammaticale	groupe nominal (adj. + n.m.)
source de l'équivalent	Sršen, M. : <i>Terminološki četverojezični rječnik cestovnog inženjerstva s pojmovnikom</i> , aspeCta, Zagreb, 2011.
contexte de l'équivalent (+ réf.)	« Osor ... preko umjetno građenog kanala između Cresa (B166) i Lošinja (B194) vodi <u>rotirajući most</u> . Most se otvara svaki dan ujutro u 9 i popodne u 5 za prolaz plovila.» Source: http://bayliner.hr/novost/ostovi-na-jadrano/775

terme	passage supérieur
catégorie grammaticale	groupe nominal (n.m. + adj.)
collocation(s)	
domaine	génie civil
sous-domaine	construction
définition	ouvrage de franchissement à un niveau supérieur d'une route ou d'une voie ferrée (ou d'un canal) en prenant ces éléments comme référence

synonyme(s)	
hyperonyme	pont
hyponyme(s)	
contexte du terme (+ réf.)	«Le projet concerne le <u>passage supérieur</u> situé au point kilométrique 0,858 de la ligne de Luxembourg à Kleinbettingen et permettant l'accès à la rue d'Alsace.» Source: http://www.cfl.lu/espaces/infrastructure/fr/les-grands-projets/descriptif-des-projets/gare-de-luxembourg-reconstruction-du-passage-sup%C3%A9rieur-(rue-d%E2%80%99alsace)
équivalent	nadvožnjak
catégorie grammaticale	n.m.
source de l'équivalent	Sršen, M. : <i>Terminološki četverojezični rječnik cestovnog inženjerstva s pojmovnikom</i> , aspeCta, Zagreb, 2011.
contexte de l'équivalent (+ réf.)	«Iznad Liburnijske ulice prolazi <u>nadvožnjak</u> magistralne željezničke pruge Rijeka-Pivka-Ljubljana.» Source: http://www.arhitektura.hr/Urbana-akcija/Nadvoznjak-pruge-Rijeka-Ljubljana

terme	avant-bec
catégorie grammaticale	groupe nominal (n.m. + adj.)
collocation(s)	~ de poussage
domaine	génie civil
sous-domaine	construction
définition	structure légère fixée provisoirement à l'extrémité avant d'un pont mis en place par poussage
synonyme(s)	
hyperonyme	

hyponyme(s)	
contexte du terme (+ réf.)	« Lors du poussage - qui s'effectue d'est en ouest - pour faciliter l'accostage sur la pile suivante le tablier amont est précédé d'un <u>avant-bec</u> .» Source: http://www.planete-tp.com/la-mise-en-place-du-tablier-par-poussage-a167.html
équivalent	čelični kljun
catégorie grammaticale	groupe nominal (adj. + n.m.)
source de l'équivalent	Radić, J.: <i>Mostovi</i> , Dom i svijet, Zagreb, 2002
contexte de l'équivalent (+ réf.)	« Nakon naguravanja stražnjeg raspona, sva se hidraulična oprema zajedno s <u>čeličnim kljunom</u> za naguravanje preselila na platformu za naguravanje uz bočni i neovisni dio mosta...» Source: www.casopis-gradjevinar.hr/.../JCE65_2013_03_7_INO-GRADUVINE.pdf..

terme	vérin
catégorie grammaticale	n.m.
collocation(s)	~ hydraulique
domaine	génie civil
sous-domaine	construction
définition	appareil composé d'un cylindre, dans lequel se déplace un piston sous l'action d'une pression hydraulique ou pneumatique, et d'une tige solidaire du piston, qui peut tirer ou pousser une charge située à l'extérieur du cylindre
synonyme(s)	
hyperonyme	

hyponyme(s)	
contexte du terme (+ réf.)	«Ces méthodes ont été remplacées par les systèmes de <u>vérins</u> hydrauliques au milieu des années 1900. Des tabliers en béton plus lourds que les métalliques ont ainsi pu être poussés.» Source: www.molez.free.fr/IMG/pdf/25_-_poussage.pdf
équivalent	hidraulički cilindar
catégorie grammaticale	groupe nominal (adj. + n.m.)
source de l'équivalent	Radić, J.: <i>Mostovi</i> , Dom i svijet, Zagreb, 2002
contexte de l'équivalent (+ réf.)	«Konstrukcija od armiranog betona, teška 20 tisuća tona, uz pomoć moćnih <u>hidrauličkih cilindara</u> , preko privremenih betonskih stupova koji će uskoro biti uklonjeni, spojena je točno u milimetar.» Source: http://www.jutarnji.hr/most-u-beogradu--kosta-120-milijuna-eura--ima-samo-jedan-pilon--a-vec-ga-je-dosao-snimiti-i-discovery-channel/929548/

terme	boulon
catégorie grammaticale	n.m.
collocation(s)	
domaine	génie civil
sous-domaine	construction
définition	ensemble constitué par une vis et par un écrou, qui, après serrage, maintient en contact les pièces traversées par la vis
synonyme(s)	
hyperonyme	
hyponyme(s)	

contexte du terme (+ réf.)	«Le <u>boulon</u> à tête hexagonale a une tête à 6 pans ou à 6 côtés. Ce type de boulon est très largement utilisé. Ce boulon est offert dans une variété de tailles et de qualités...» Source: http://www.desormeau.com/fr/produits/type/boulons-a-tete-hexagonale/
équivalent	matični vijak
catégorie grammaticale	groupe nominal (adj. + n.m.)
source de l'équivalent	http://struna.ihjj.hr/search-do/?q=mati%C4%8Dni+vijak#container
contexte de l'équivalent (+ réf.)	« <u>Vijak matični</u> sa šesterokutnom glavom Materijal: Fe - bez zaštite, Zn - galvanski pocinčano, Br - brunirano, TZn - vruće cinčano, A2 - inox, A4 - inox» Source: http://www.divgroup.eu/products.asp?gID=1&sID=9&pID=76&lang=

terme	élément préfabriqué
catégorie grammaticale	groupe nominal (n.m. + adj.)
collocation(s)	
domaine	génie civil
sous-domaine	construction
définition	élément d'un ouvrage qui est fabriqué à l'écart du site de construction et puis assemblé sur le site de l'ouvrage pour le former
synonyme(s)	segment préfabriqué
hyperonyme	
hyponyme(s)	
contexte du terme (+ réf.)	«De nouvelles technologies et de nouveaux matériaux en matière de coffrage à béton et pour les usines

	d'éléments préfabriqués sont plus que jamais demandés dans le but d'améliorer l'efficacité des constructions en béton.» Source: http://www.bt-innovation.de/fr/coffrage-a-beton/
équivalent	predgotovljeni element
catégorie grammaticale	groupe nominal (adj. + n.m.)
source de l'équivalent	Radić, J.: <i>Mostovi</i> , Dom i svijet, Zagreb, 2002
contexte de l'équivalent (+ réf.)	« Za projektiranje polumontažnog sustava "Beton Lučko" nudi suradnju svojih stručnjaka specijaliziranih za ovu vrstu konstrukcija i opremljenih kompjutorskim programom za izvedbu radioničkih nacрта <u>predgotovljenih elemenata</u> . Time će se postići optimalni izbor težine elemenata, radnih spojeva i armiranje, te svih potrebnih fizikalnih parametara zgrade. » Source: http://www.betonlucko.hr/index.php/en/45-sistemi-gradenja

terme	coffrage
catégorie grammaticale	n.m.
collocation(s)	
domaine	génie civil
sous-domaine	construction
définition	enceinte provisoire destinée à contenir un matériau de construction (béton, pisé) utile pour maintenir ce matériau en place, en attendant sa prise puis son durcissement
synonyme(s)	
hyperonyme	échafaudage

hyponyme(s)	
contexte du terme (+ réf.)	<p>«Des tiges verticales ont été mises en place et un <u>coffrage</u> a été construit autour des tiges, puis on a coulé le béton. Lorsque le béton a durci suffisamment pour supporter une masse, le <u>coffrage</u> (glissant) a été soulevé le long des tiges, et on a pu couler d'autre béton. Cette démarche a été répétée jusqu'à ce que l'on atteigne la hauteur désirée. »</p> <p>Source: http://www.sciencetech.technomuses.ca/francais/sc_hoolzone/basesurstructures.cfm</p>
équivalent	oplata
catégorie grammaticale	n.f.
source de l'équivalent	http://struna.ihjj.hr/naziv/oplata/8329/#naziv
contexte de l'équivalent (+ réf.)	<p>«Fiksne se skele obično sastoje od sljedećih dijelova: - <u>oplata</u> ili kalup u kojeg se ugrađuje beton ili na kojem se zida struktura... »</p> <p>Source: Radić, J.: <i>Mostovi</i>, Dom i svijet, Zagreb, 2002, p. 354</p>

terme	rivetage
catégorie grammaticale	n.m.
collocation(s)	
domaine	génie civil
sous-domaine	construction
définition	opération par laquelle on assemble (des pièces) au moyen de rivets; assemblage par rivets
synonyme(s)	
hyperonyme	
hyponyme(s)	rivet

contexte du terme (+ réf.)	«En 1950, on inaugurerait le premier pont entièrement construit en aluminium, le pont d'Arvida assemblé par <u>rivetage</u> (rivets de 20mm). » Source: www.cqrda.ca/wp.../Feuillard-35-Le-Clinchage.pdf
équivalent	zakivanje
catégorie grammaticale	n.n.
source de l'équivalent	http://struna.ihjj.hr/naziv/zakivanje/7552/#naziv
contexte de l'équivalent (+ réf.)	«Pretpostavka da će biti jednostavnije zakivanje pokazala se ispravnom, jer za <u>zakivanje</u> 1120 zakovica $\varnothing 23$ □ nije trebalo proširivati niti jednu rupu » Source: Zaklan, B.: <i>Ojačanje zakovanih željezničkih čeličnih mostova</i> , Građevinar, br.12/2001, p. 785

9. ANALYSE DE LA TRADUCTION

L'objectif premier de ce chapitre est d'effectuer une analyse comparative des vocabulaires spécialisés du français et du croate dans le domaine du génie civil, ou plus précisément de la construction des ponts, en s'appuyant sur la traduction du texte français *Ponts de l'Encyclopædia Universalis* que nous avons traduit vers le croate. Il a fallu faire une recherche terminologique bilingue et puis faire une comparaison interlangue des notions.

La traduction technique ne consiste pas seulement à trouver des équivalents des termes dans le dictionnaire bilingue. Un tel dictionnaire n'est pas une source adéquate car il peut donner des termes non adaptés au contexte et nous propose plusieurs équivalents sans aucune indication sur leur emploi ou leur fréquence d'usage. Nous avons dû passer une bonne partie de temps à acquérir des connaissances dans des sources documentaires et cette démarche s'est démontrée essentielle pour faire une traduction de qualité sur le plan terminologique et phraséologique.

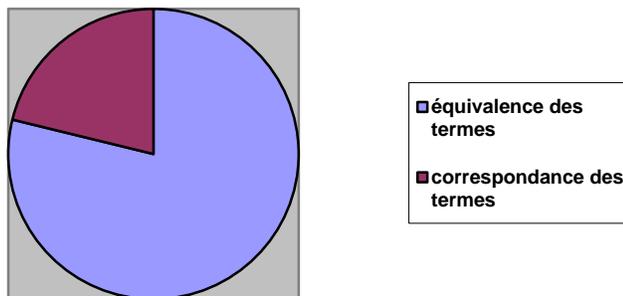
Tout au long du procès de la traduction, nous nous sommes rendu compte de l'importance de la normalisation des vocabulaires spécialisés. Quand une langue se spécialise, son lexique devient plus concret. La langue française connaît une longue tradition de normalisation car l'AFNOR a même contribué à la création de l'ISO. Cependant, HZN, une institution créée afin de s'occuper de réalisation des objectifs de la normalisation en Croatie existe depuis 2004. Nous essayerons de démontrer des différences et des difficultés que nous avons rencontrées dans les paragraphes qui suivent.

Pour approfondir nos connaissances sur la terminologie de la construction des ponts nous avons choisi deux textes supplémentaires: le texte *Renseignement de base sur les structures* est trouvé sur l'internet et est écrit dans le but de faciliter la tâche des professeurs dans leur programme scolaire en expliquant d'une façon plus simple le vocabulaire de base sur les ponts et les tours. L'autre texte est aussi trouvé sur l'internet et il décrit la construction du viaduc Millau, un viaduc très connu en France, en utilisant le vocabulaire technique.

Le vocabulaire français est parfaitement normalisé et la monosémie est sa caractéristique principale. Dans tous les textes et documents que nous avons lus, nous avons trouvé les mêmes termes désignant les mêmes concepts ; c'était le contexte dans lequel les termes ont été utilisés qui était adapté au public cible.

La deuxième étape consistait à trouver des équivalents croates et ce n'était pas facile car la langue croate ne connaît pas une telle normalisation dans ce domaine et il existe beaucoup moins de sources documentaires adéquates. Après avoir recherché les sources disponibles, nous avons trouvé des dictionnaires et des livres adéquats qui nous ont aidés. Il faut surtout mentionner Struna, une base de données terminologiques croate qui a été officiellement inaugurée sur le web en février 2012.⁴³ Son objectif est de développer progressivement la terminologie croate normalisée dans tous les domaines professionnels et de la rendre accessible au public.

Dans le texte français qui a été choisi comme objet de cette traduction, nous avons trouvé 118 termes. La comparaison avec les termes croates trouvés en analysant les champs notionnels est présentée sous forme de diagramme circulaire :



Pour la plupart des termes français (77%), c'était possible de trouver un équivalent croate. Pour les autres termes (23%), nous avons trouvé des termes correspondants. Mais le problème principal était le fait que le vocabulaire croate dans le domaine de construction n'est pas aussi normalisé et harmonisé que le vocabulaire français. Les différentes sources proposent des solutions différentes et notre tâche consistait à faire une bonne recherche et faire le meilleur choix. Parfois un auteur utilise

⁴³ <http://struna.ihjj.hr/page/o-struni/#struna>

plusieurs solutions pour un terme dans un même livre. Nous allons présenter les termes les plus courants pour lesquelles c'était difficile de trouver un équivalent :

- les termes français *travée* et *portée*, les deux sont traduits comme *raspon*

La *travée* est l'élément de tablier entre deux éléments d'appui du pont (piles, culée, etc...), tandis que la *portée*, c'est la distance entre deux points d'appui et ne désigne pas une partie physique d'un pont.⁴⁴ Le vocabulaire croate ne fait pas une telle différence.

- le terme *pont à câbles* qui regroupe les termes *pont suspendu* et *pont à haubans* n'existe pas en croate- il n'y a pas d'hyperonyme des termes *viseći i ovješeni most*

- les termes *chaussée* et *tablier* sont traduits en croate tous les deux comme *kolnik*

- le terme *élément préfabriqué* connaît plusieurs solutions en croate: *predgotovljeni, prefabricirani* ou *predfabricirani element*

- le terme *pont tournant* devrait être traduit comme *rotirajući most*, mais le terme *pokretni most* est beaucoup plus utilisé même s'il n'est pas assez précis car il est son hyperonyme et il existe plusieurs types de ponts mobiles. Nous avons aussi trouvé le terme *zaokretni most* comme solution pour ce terme français.

Bien qu'un travail de cette taille ne puisse prétendre à une analyse exhaustive de tous les problèmes posés par la confrontation des vocabulaires spécialisés français et croate dans le domaine de la construction des ponts, nous avons essayé au moins y contribuer.

44 <http://dictionnaire.reverso.net/francais-definition/trav%C3%A9e>

10. CONCLUSION

Le présent travail avait pour but de déterminer le rôle de la normalisation et de la terminologie dans le procès de la traduction d'un texte technique. Afin d'arriver à ce but, nous avons choisi de traduire un texte utilisant les termes très techniques et appartenant à un domaine de spécialité sur lequel nous ne possédions au préalable aucune connaissance. Le texte mentionné est l'article *Ponts* de *l'Encyclopædia Universalis* qui appartient au domaine du génie civil.

Notre travail consistait à offrir la traduction, puis à faire un glossaire bilingue (français-croate) des termes pertinents et vingt fiches terminologiques, et enfin à donner une analyse dans laquelle nous comparons le niveau de normalisation des vocabulaires spécialisés du français et du croate dans ce domaine.

La première étape du travail consistait à nous familiariser au domaine en utilisant des textes spécialisés, des dictionnaires techniques, des recueils terminologiques et des banques de données dans la langue source afin de délimiter la domaine, recueillir du corpus qui a mis en évidence la terminologie du domaine et saisir des termes pertinents. Ce n'était pas difficile car le lexique français connaît un haut niveau de normalisation et les termes sont harmonisés.

La deuxième étape était de trouver des équivalents croates afin de faire la traduction. Nous avons pu constater que le lexique croate est moins normalisé, ce qui peut poser des obstacles aux traducteurs à trouver des équivalents. Nous avons recherché des sources documentaires afin d'analyser des champs notionnels des termes et de trouver des termes correspondants pour les termes français qui ne disposent d'équivalents croates.

L'importance du travail terminologique s'est démontrée indispensable pour offrir une traduction technique. En faisant une comparaison des vocabulaires spécialisés, nous avons pu constater que la normalisation du vocabulaire spécialisé d'une langue facilite le travail du traducteur et contribue le mieux à l'efficacité de la communication.

11. BIBLIOGRAPHIE

1. Bartolić, L.J. *Tehnički rječnik brodogradnje, strojarstva i nuklearne tehnike*, Školska knjiga, Zagreb, 2005
2. Cabré, M. T. *La terminologie. Théorie, méthode et applications*, Les Presses de l'Université d'Ottawa, Canada, 1998
3. Depecker, L. : *Entre signe et concept: éléments de terminologie générale*, Presses Sorbonne Nouvelle, Paris, 2002
4. Depecker, L. : *Normalisation et standardisation*, Hieronymus Complutensis, El mundo de la Traducción, n° 3, 1996, Revista del Instituto Universitario de Lenguas Modernas y Traductores
5. Dubuc, R. : *Manuel pratique de terminologie*, Linguatex, Montréal, 2002
6. Gomez, C., Pinto, M. : *La normalisation au service du traducteur*, Meta: journal des traducteurs, vol. 46, n°3, 2001
7. Gouadec, D. *Terminologie : Constitution de données*, AFNOR, Paris, 1990
8. Horvatić, D.: *Kobe 1995-1998 i Akashi-Kaikyo most s najvećim rasponom na svijetu*, Hrvatsko društvo građevinskih konstruktora, Zagreb, 1998
9. Jakobović, Z. *Tehnički leksikon*, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 2007
10. Larivière, L. : *Comment formuler une définition terminologique*, Meta: journal des traducteurs, vol. 41, n°3, 1996
11. L'homme, M.-C. : *La terminologie: principes et techniques*, Les presses de l'Université de Montréal, Montréal, 2004
12. Putanec, V. : *Francusko-hrvatski rječnik*, Školska knjiga, Zagreb, 2001
13. Radić, J.: *Mostovi, Dom i svijet*, Zagreb, 2002
14. Simović, V. *Leksikon građevinarstva*, Masmedia, Zagreb, 2002
15. Sršen, M. : *Terminološki četverojezični rječnik cestovnog inženjerstva s pojmovnikom*, aspeCta, Zagreb, 2011
16. Zaklan, B.: *Ojačanje zakovanih željezničkih čeličnih mostova*, Građevinar, br.12/2001

11. SITOGRAPHIE

<http://arhiva.nacional.hr/clanak/130560/slavni-golden-gate-bridge-obiljezava-75-obljetnicu> (le 3 juin 2015)

<http://bayliner.hr/novost/ostovi-na-jadraniu/775> (le 18 avril 2015)

<http://evene.lefigaro.fr/culture/lieux/auditorium-maurice-ravel-3759.php> (le 3 octobre 2014)

<http://pozeski.hr/licke-vode-drugi-dio/> (le 3 juin 2015)

<http://struna.ihj.hr/naziv/zakivanje/7552/#naziv> (le 2 mai 2015)

<http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/25483/ch05.html> (le 10 novembre 2014)

<http://topographi.blogspot.com/2011/05/culee-pont.html> (le 9 septembre 2014)

<http://www.afnor.org/metiers/normalisation/organisation-du-systeme-francais-de-normalisation/le-cen>
(le 3 juin 2015)

<http://www.arhitektura.hr/urbana-akcija/Nadvoznjak-pruge-Rijeka-Ljubljana> (le 3 juin 2015)

<http://www.betonlucko.hr/index.php/en/45-sistemi-gradenja> (le 2 mai 2015)

<http://www.bt-innovation.de/fr/coffrage-a-beton/> (le 25 janvier 2015)

<http://www.bt-tb.tpsgc-pwgscc.gc.ca/btb.php?lang=fra&cont=308> (le 2 mai 2015)

<http://www.desormeau.com/fr/produits/type/boulons-a-tete-hexagonale/> (le 3 juin 2015)

<http://www.divgroup.eu/products.asp?gID=1&sID=9&pID=76&lang=> (le 2 mai 2015)

<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=64443> (le 3 juin 2015)

<http://www.gradimo.hr/clanak/proizvodnja-i-primjena-vapna/82809> (le 2 mai 2015)

<http://www.graymont.com/fr/marches/construction-de-batiments> (le 2 mai 2015)

<http://www.hzn.hr/default.aspx?id=6> (le 2 mai 2015)

<http://www.infrastructures.com/0799/golden.htm> (le 25 janvier 2015)

http://www.iso.org/iso/fr/about/iso_members/iso_member_body.htm?member_id=1738 (le 17 avril 2015)

<http://www.jutarnji.hr/most-u-beogradu--kosta-120-milijuna-eura--ima-samo-jedan-pilon--a-vec-ga-je-dosao-snimiti-i-discovery-channel/929548/> (le 17 avril 2015)

<http://www.konstruktor-split.hr/reference/tabid/905/a/View/pid/69/Default.aspx> (le 25 janvier 2015)

<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/glossaire/37201> (le 10 novembre 2014)

http://www.leviaducdemillau.com/version_html/construction.html (le 10 novembre 2014)

<http://www.mapei.com/FR-FR/Produits-pour-la-construction/Mortiers-pour-la-restauration-des-ouvrages-anciens/MAPE-ANTIQUE-F21> (le 2 mai 2015)

<http://www.ouest-france.fr/une-seule-ouverture-du-pont-tournant-demain-matin-171936> (le 2 mai 2015)

<http://www.planete-tp.com/la-mise-en-place-du-tablier-par-poussage-a167.html> (le 13 mars 2015)

<http://www.planete-tp.com/russie-le-pont-a-la-plus-longue-a2632.html> (le 13 mars 2015)

<http://www.sciencetech.technomuses.ca/francais/schoolzone/basesurstructures.cfm> (le 13 mars 2015)

http://www.upm.ro/facultati_departamente/stiinte_litere/conferinta_situl_integrare_europeana/Lucrari3/franceza/Mihaela%20Popescu.pdf (le 25 janvier 2015)

<https://www.cen.eu/about/Pages/default.aspx> (le 13 mars 2015)

www.casopis-gradjevinar.hr/.../JCE65_2013_03_7_INO-GRAĐEVINE.pdf... (le 13 mars 2015)

www.cqrda.ca/wp.../Feuillard-35-Le-Clinchage.pdf (le 25 janvier2015)

www.molez.free.fr/IMG/pdf/25_-_poussage.pdf (le 25 janvier2015)

ANNEXE

A

PONTS

- 1 *La classification des ponts*
- 2 *L'histoire de la construction des ponts*
- 3 *Les ponts modernes*
- 4 *Les ponts spéciaux*

La fonction des ponts est de permettre le franchissement d'un obstacle par une voie de transport. À l'origine, l'obstacle pouvait être une rivière ou une gorge profonde, et la voie de transport une route ou une conduite d'eau. Le pont du Gard, construit au I^{er} siècle après Jésus-Christ, est le plus connu de ces ponts-aqueducs.

Avec le développement des moyens de transport et de la société industrielle, les ouvrages se sont multipliés. À partir du XVII^e siècle, les canaux pouvaient franchir des rivières ou des vallées par l'intermédiaire de ponts-canaux comme celui de Briare, construit par Gustave Eiffel en 1896.

Lors de l'essor des chemins de fer au cours de la seconde moitié du XIX^e siècle, l'obligation de limiter la pente des rampes a rendu nécessaire la construction de viaducs franchissant souvent à grande hauteur et à niveau sensiblement constant des vallées importantes. C'est l'époque de l'édification du viaduc de Garabit sur la Truyère, par Léon Boyer et Gustave Eiffel en 1884, et de celui du Vaur, par Paul Bodin en 1902 ; mais aussi de nombreux autres, constitués de travées identiques de relativement faible portée, comme les viaducs en maçonnerie de Morlaix, de Dinan, de Barentin, de Chaumont, de Saint-Chamas, etc.

Depuis quelques dizaines d'années, la création du réseau autoroutier a multiplié ces ouvrages afin de franchir des rivières et des vallées avec des pentes qui ne dépassent pas 4 ou 5 p. 100, mais aussi des autres voies de transport, ferroviaires et routières, et même des zones urbanisées lorsque la densité des habitations ne permet pas

l'implantation de l'autoroute au sol. Le viaduc de Poncin, qui permet à l'autoroute A40 d'enjamber la vallée de l'Ain, celui de Nantua, qui prolonge le tunnel sortant de la montagne à 100 mètres au-dessus du fond de la vallée, et ceux des Glacières et de Sylans qui franchissent des zones d'éboullis instables, sur l'autoroute Lyon-Genève par Nantua, constituent de remarquables exemples d'ouvrages imposés par la construction d'une autoroute dans des sites difficiles. Les viaducs de l'antenne de Bagnolet, qui rejoint l'autoroute du Nord, ou ceux de Neuilly-Plaisance de la ligne de Marne-la-Vallée du Réseau express régional (R.E.R.) franchissent des zones fortement urbanisées. En outre, la nécessité d'éviter les croisements à niveau avec les autres voies routières a conduit à construire de nombreux ponts qui permettent aux voies secondaires de franchir l'autoroute. Ces ouvrages de passage inférieur ou supérieur autoroutier, selon la position de la voie secondaire par rapport à l'autoroute, ont été standardisés et sont appelés ponts-types. Il existe aussi des échangeurs, quelquefois particulièrement complexes pour les autoroutes urbaines, où deux, trois, voire quatre niveaux de circulation s'entrecroisent sur des ouvrages dont le tracé en plan est souvent courbe et dont l'épaisseur doit être faible. Ceux-ci doivent s'appuyer au sol en des points imposés par la disposition des voies. L'échangeur de la porte de la Chapelle sur le boulevard périphérique de Paris ou celui de Saint-Maurice entre les autoroutes A4 et A86 en donnent de bons exemples.

Les ponts portant des conduites d'eau ou de gaz ont des formes tout à fait particulières, liées aux faibles dimensions et à la faible résistance intrinsèque des conduites.

La création de nouveaux modes de transport, comme l'aérotrain, a été envisagée dans les années 1970. Ce projet, inventé par J. Bertin, nécessitait une voie en béton ayant la forme d'un T renversé. La ligne expérimentale de l'aérotrain sustenté et guidé par des coussins d'air qui part d'Orléans est abandonnée.

1 *La classification des ponts*

Il est extrêmement difficile de classer les ponts en différentes catégories, car il existe de très nombreux critères de classement : le matériau dont est construit le tablier (aujourd'hui essentiellement l'acier et le béton, armé ou précontraint) ; la nature des

réactions que le pont produit sur ses appuis ; le mode de fonctionnement de la structure en flexion longitudinale ; le schéma statique transversal de l'ouvrage, et enfin son mode de construction.

Traditionnellement, on distingue trois grandes familles en fonction de la nature des réactions produites par l'ouvrage sur ses appuis: *les ponts qui travaillent en poutre*, qui n'exercent que des réactions verticales ou quasi verticales si l'on excepte les efforts horizontaux créés par le freinage des convois ou les effets du vent ; ils doivent être construits avec des matériaux résistants en flexion comme le bois, le béton armé ou précontraint et l'acier ; *les ponts en arc*, qui exercent sur leurs culées des réactions de poussée tendant à les écarter ; ce sont des structures funiculaires de compression qui peuvent donc être contruites avec des matériaux qui ne résistent pas à la traction, comme la pierre ou la fonte ; *les ponts suspendus* dans lesquels les grands câbles porteurs exercent des efforts de traction sur les massifs d'ancrage.

Le simplisme de cette classification ne suffit pas à représenter l'immense diversité des schémas statiques longitudinaux :

– Les ponts à câbles regroupent aussi bien les ouvrages suspendus classiques que ceux qui sont autoancrés, dans lesquels les grands câbles porteurs sont fixés sur le tablier, et les ponts à haubans, dans lesquels chacun des haubans vient directement s'accrocher sur le tablier. La compression de ce dernier équilibre l'effort de traction des câbles ou des haubans.

– Les ponts en arc modernes peuvent être à tablier supérieur, intermédiaire ou inférieur, en fonction de la position de celui-ci par rapport à l'arc. Ce dernier, qui peut être encastré sur ses culées aux naissances, peut aussi comporter de une à trois articulations : le plus souvent deux, une à chacune des naissances comme pour le viaduc de Garabit, ou trois, la troisième étant située à la clef. Dans certains cas, le tablier – lorsqu'il est à un niveau très bas, et particulièrement lorsque le sol n'est pas capable d'équilibrer les réactions de poussée d'un arc classique – peut équilibrer par sa traction la poussée de l'arc qui devient un effort interne : c'est ce qu'on appelle un pont en bow-string, qui peut aussi être considéré comme un pont en treillis à poutres latérales de hauteur variable. La suspension du tablier est assurée soit par des tirants en acier, voire en béton armé ou précontraint, soit par des câbles, verticaux ou inclinés, qui sont disposés en V ou en X. Dans le cas le

plus courant des arcs à tablier supérieur, le nombre des pilettes supportant le tablier peut être réduit – grâce à une augmentation de sa résistance à la flexion – jusqu'à faire dégénérer la forme de l'ouvrage en pont à béquilles ; c'est le cas du pont principal du viaduc de Martigues, à Caronte, ou de celui du Bonhomme sur le Blavet. L'inclinaison des béquilles peut être variable. Elles peuvent même devenir verticales, donnant alors à l'ouvrage la forme d'un portique, comme le pont sous la ligne du métro à la station de Bir-Hakeim à Paris ou la passerelle entre l'île Saint-Louis et l'île de la Cité.

– Les ponts en poutre présentent les formes les plus diverses. L'ouvrage peut tout d'abord être une poutre continue sur des appuis multiples, ou au contraire divisé en une succession de travées indépendantes. De multiples schémas intermédiaires permettent de faire varier le degré d'hyperstaticité de la structure. Les poutres constituant la partie porteuse de l'ouvrage peuvent être placées sous la chaussée ou de part et d'autre de celle-ci ; on parle alors respectivement de ponts à poutres sous chaussée ou de ponts à poutres latérales. Sur les ouvrages modernes, elles sont en acier ou en béton, à âmes pleines ou en treillis de formes très diverses.

2 L'histoire de la construction des ponts

L'histoire de la construction des ponts est avant tout celle des matériaux qui les constituent. Les ouvrages primitifs étaient réalisés avec des matériaux naturels tels que le bois, les lianes et la pierre. Avec des lianes, on a construit des passerelles suspendues ; avec la pierre, des ponts en poutre – une simple dalle de pierre jetée entre deux appuis – et des arcs ; avec le bois, des ponts en poutre – une série de troncs d'arbres entre deux appuis – et des treillis de plus en plus complexes, travaillant en poutre ou en arc. Des passerelles de l'Himalaya constituent même des exemples de construction par encorbellements successifs, avec des troncs d'arbre encastrés dans une culée de pierres sèches et s'avançant de plus en plus au-dessus de la brèche ; et des exemples de pont-ruban tendus entre deux rives.

Ponts en bois

Le bois a été le matériau le plus utilisé dans l'Antiquité et jusqu'au XVII^e siècle, même si nous n'en avons gardé que de rares témoignages tels que le pont de la Chapelle à Lucerne, le plus célèbre, et celui de l'Accademia à Venise. Toutefois, les historiens ont laissé la description d'ouvrages très importants : Hérodote parle de ponts sur le Nil et l'Euphrate vingt siècles avant Jésus-Christ ; Darius aurait franchi le Bosphore et Xerxès les Dardanelles sur des ponts de bateaux ; César a réalisé en huit jours un ouvrage sur le Rhin pour aller écraser les Germains en 55 avant J.-C. ; et Trajan fit construire un pont de 1 100 m sur le Danube, en 105 après J.-C., dont le dessin nous est laissé par la colonne Trajane. Le bois a encore été largement utilisé en Amérique du Nord pour les grands viaducs ferroviaires.

Ponts en pierre

La pierre et la maçonnerie ont été utilisées pour des ouvrages importants et durables, depuis la haute Antiquité jusqu'à la fin du XIX^e siècle et même jusqu'à tout récemment en Chine, pendant la révolution culturelle. L'origine des arcs en pierre remonterait aux Sumériens, mais ce sont les Étrusques et surtout les Romains qui ont développé leur construction, acquérant une compétence technique (traité de Vitruvius Pollio) qui ne sera retrouvée qu'au XVI^e siècle en Italie. Les arcs primaires des ponts en grand appareil du haut Empire sont bâtis par anneaux de pierres successifs, les uns à côté des autres, pour limiter la taille des cintres ; les ponts du bas Empire sont réalisés en maçonnerie, grâce à la découverte des ciments naturels. Les portées des ponts en arc romains peuvent atteindre 30 m (cf. ROME ET EMPIRE ROMAIN -L'art romain).

Le Moyen Âge n'apportera aucun progrès sensible (pont Bénézet à Avignon, en 1187 ; celui de Céret, en 1339), avec une forme un peu différente des voûtes en arc brisé (pont Valentré à Cahors, en 1308, celui d'Entraygues, en 1269), probablement sous l'influence des constructions orientales qui atteindront leur apogée dans l'empire turc (ponts de Sinan Pacha, comme celui de Mostar en Yougoslavie). Il faudra attendre la Renaissance italienne pour que les voûtes soient surbaissées et les piles affinées. Le pont de la Trinité à Florence, en 1570, et celui du Rialto à Venise, en 1590, en sont des bons exemples. En France, la technique fit des progrès considérables au XVIII^e siècle grâce à

la création du Corps des ponts et chaussées, en 1716, de l'École des ponts et chaussées, en 1747, et aux ouvrages de Jean-Rodolphe Perronet, son premier directeur (pont Georges V à Orléans en 1761 et celui de la Concorde en 1791). La construction des lignes de chemin de fer, au cours du XIX^e siècle, fut l'occasion de concevoir, surtout en France et en Grande-Bretagne, de grands viaducs ferroviaires en maçonnerie dont les aqueducs des XVII^e et XVIII^e siècles avaient constitué une remarquable préfiguration. La maçonnerie se découpe, des voûtes d'élégissement diminuent la masse de la construction, particulièrement au-dessus des piles. Paul Séjourné, célèbre par les six tomes de ses "Grandes Voûtes" et considéré comme le plus brillant des ingénieurs français de cette époque, a réalisé le pont Adolphe à Luxembourg sur la vallée de la Pétruse, en 1903, avec pour la première fois une dalle de roulement en béton armé, et le viaduc de Fontpédrouze, en 1911.

Ponts métalliques

La construction métallique est ancienne puisque, dès le premier siècle de notre ère, des moines bouddhistes ont bâti au Tibet des ponts suspendus dans lesquels des chaînes de fer ont remplacé les lianes. En Chine – où l'on avait déjà édifié de remarquables voûtes en maçonnerie – un pont suspendu, qui existe encore, a été bâti dès 1706 avec une portée de 100 m. En Occident, le développement de la construction métallique date des débuts de l'ère industrielle, à la fin du XVIII^e siècle : un maître de forge, Abraham Darby III, construit le Coalbrookdale Bridge sur la Severn en 1779. L'ouvrage est constitué de cinq arcs parallèles en fonte. Le pont de Sunderland en Grande-Bretagne en 1796, avec une portée de 72 m, et la passerelle des Arts, réalisée par Cessart en 1803, marquent les débuts des ponts métalliques. Tous ceux qui ont été construits en fonte, jusque vers 1850, se sont effondrés, comme le pont Saint-Louis à Paris en 1939, ou ont été démolis, car ce matériau résistait mal à la traction et aux chocs.

Mais, avec le développement de la sidérurgie, le fer remplace la fonte : le fer battu d'abord, appelé fer puddlé, puis le fer directement issu de l'affinage de la fonte. Parmi les ponts les plus célèbres, celui de Britannia construit en 1850 par Robert Stephenson, avec deux portées de 140 m, est une structure tubulaire en caisson rectangulaire à âmes pleines. On peut aussi citer les constructions de Gustave Eiffel comme le pont Maria Pia

à Porto, qui est un arc de 160 m d'ouverture, en 1878, le viaduc routier de Saint-André-de-Cubzac, en 1882, et le viaduc ferroviaire sur la Sioule.

Après l'invention du convertisseur Bessemer en 1856, puis des procédés Siemens-Martin en 1867, l'acier remplace le fer. Grâce à des caractéristiques mécaniques qui ne cessent de s'améliorer, comme la limite d'élasticité de l'acier qui passe de 100 ou 150 MPa, à cette époque, à 240 MPa, puis à 360 MPa après la Seconde Guerre mondiale et à 600 MPa au moins pour certains ponts japonais, les structures sont progressivement allégées. Le premier pont en acier est celui de Saint Louis sur le Mississippi, édifié par Ends en 1874. C'est le début d'une évolution extraordinaire marquée par la réalisation du célèbre pont du Firth of Forth par Fowler et Baker en 1890 qui est, à l'époque, le plus grand pont du monde avec deux travées de 521 m.

Parallèlement à l'amélioration de la limite d'élasticité de l'acier, l'évolution de la construction métallique a été marquée par celle des modes d'assemblage et celle de la couverture des ponts. Dans les premiers ouvrages en fer et en acier, les différentes pièces étaient assemblées par rivetage au moyen de plaques couvre-joint. En dehors du supplément de poids qu'elle engendre, cette technique est chère en main-d'œuvre. Elle est aujourd'hui abandonnée au profit du soudage. Toutefois, les premières soudures se sont avérées très fragiles par temps froid : ainsi le pont de Hasselt sur le canal Albert, en Belgique, s'est effondré en 1938 sans que la moindre charge ait été placée sur l'ouvrage ; de nombreux Liberty Ships ont subi le même sort pendant la guerre ; et le pont Duplessis s'est écroulé au Canada, en 1951, par $- 35^{\circ}\text{C}$. Il a donc fallu mettre au point des nuances d'acier spéciales aptes au soudage (acier A 52 S γ Nb en France, maintenant appelé acier E355), et des conditions de soudage qui ne provoquent pas leur fragilisation (cf. MÉTALLURGIE – Histoire). L'assemblage par boulons à haute résistance a été mis au point. Le principe est de serrer les pièces l'une contre l'autre, par l'intermédiaire de plaques couvre-joint. La résistance de l'assemblage est obtenue par frottement des plaques l'une contre l'autre, grâce à l'effort de serrage contrôlé produit par les boulons. Cette procédure est quelquefois utilisée pour assembler sur chantier de grands éléments de charpente en acier soudé (pont Masséna et ponts métalliques de l'échangeur de Bercy, au-dessus des voies Paris-Lyon, sur le boulevard périphérique de Paris). Mais les progrès considérables qui ont été faits dans le domaine du soudage ont fortement limité l'intérêt

de cette solution. Aujourd'hui, les procédures de traçage, de découpage, de soudage et de manutention des pièces en usine sont automatisées et dirigées par ordinateur ; il s'agit de la F.A.O. (fabrication assistée par ordinateur) qui est associée à la C.A.O. (conception assistée par ordinateur) pour permettre une fabrication automatique en usine, avec des interventions humaines extrêmement réduites, à partir d'ordres découlant directement des consignes du concepteur, qui les génère sur la console de son ordinateur.

Dans les premiers ponts métalliques, la couverture – c'est-à-dire l'élément qui recouvre l'ossature métallique porteuse et qui soutient ou constitue la chaussée – était soit en bois, notamment dans les ponts suspendus, soit en tôles embouties, soit en maçonnerie. Il s'agissait alors de voûtelettes de briques appuyées sur des pièces de pont ou sur des longerons, comme dans les viaducs aériens du métro de Paris. Au début de ce siècle, ces couvertures ont été remplacées par des dalles en béton armé, posées sur l'ossature métallique et destinées à lui transmettre les charges. Depuis plusieurs décennies, on lie cette dalle de couverture en béton armé à la charpente métallique par des connecteurs, pour qu'elle participe à la résistance de l'ouvrage en flexion longitudinale, au moins dans les zones de moment positif où la dalle est comprimée. Cela permet de diminuer la taille des membrures supérieures des poutres en acier. Les connecteurs peuvent être de plusieurs types : goujons Nelson soudés au pistolet électrique sur les semelles supérieures des poutres, cornières... Pour les ouvrages de très grande portée (poutres de grande portée, ponts suspendus et à haubans), le souci de la légèreté a conduit à concevoir des dalles purement métalliques, constituées par une tôle raidie dans les deux directions, d'où leur nom de dalle orthotrope, contraction de "orthogonal-anisotrope". Longitudinalement, la tôle est renforcée par des raidisseurs ouverts (plats, cornières, profils en Té...) ou fermés de diverses formes, dont la plus courante en France est celle des augets en U. Ces raidisseurs longitudinaux s'appuient sur des entretoises qui assurent le raidissage transversal, et qui sont espacées de quelques mètres, généralement 4 m en France. C'est le cas du pont de Chaumont sur la Loire, du pont de l'Alma à Paris et de celui de Cornouaille à Bénodet en 1973. Une solution intermédiaire est la dalle Robinson, peu employée aujourd'hui, constituée d'une tôle métallique sur laquelle est coulée une mince dalle de béton de 8 à 10 cm d'épaisseur, à laquelle elle est fortement

connectée. Cette dalle doit être portée par des poutres longitudinales modérément espacées, ou par des pièces de pont (pont d'Aquitaine à Bordeaux).

Les ponts suspendus

Sans oublier les ouvrages suspendus chinois, la première réalisation occidentale est un modeste pont de 21 m de portée, bâti par l'Américain James Findlay ; les câbles étaient des chaînes de fer forgé. L'invention par l'Anglais Brown, en 1817, des chaînes formées de barres articulées, appelées barres à œillets, a permis des progrès substantiels : le pont de Berwick a une portée de 137 m dès 1820, mais il est détruit six mois plus tard par le vent ; Thomas Telford construit, en 1826, le pont sur le Menai, dont la portée atteint 177 m ; il restera en service jusqu'en 1940. Les frères Seguin inventent les câbles formés de fils de fer parallèles de petit diamètre (3 mm), d'une résistance nettement supérieure aux chaînes à barres, et bâtissent le pont de Tournon sur le Rhône, en 1825, avec deux travées de 85 m ; il sera suivi d'une centaine d'autres ouvrages suspendus dans la région Rhône-Alpes. Le pont de Fribourg, édifié en 1834 par J. Chaley, a une portée de 273 m. Le record est battu en 1883 par J. Roebling avec des câbles formés de fils d'acier parallèles : la portée du pont de Brooklyn, à New York, atteint 486 m. Les câbles sont désormais en acier à très haute limite élastique. Le Français F. Arnodin invente le câble à torsion alternative, obtenu en enroulant plusieurs couches de fils autour d'un premier fil rectiligne. La portée du George Washington Bridge, construit par O. H. Amman sur l'Hudson à New York en 1931, dépasse pour la première fois les 1 000 m. C'est le premier grand pont suspendu moderne, mais il est moins connu que le Golden Gate Bridge, édifié par J. Strauss en 1937 à San Francisco, qui lui ravit le record avec 1 281 m. Amman le reprendra en 1964 en bâtissent le Verrazzano Narrows Bridge, à l'entrée du port de New York (1 298 m).

De nombreux ponts suspendus se sont écroulés : celui de Berwick en 1820, et celui de la Roche-Bernard en 1840, quatre ans après son achèvement, tous les deux sous l'effet du vent. Dans ces premiers ouvrages, en effet, les pièces de pont transversales, attachées aux suspentes, n'étaient souvent reliées que par un simple platelage dans le sens longitudinal, incapable de résister aux moments de flexion transversale produits par le vent. La légèreté de ce platelage conduisait à de grandes déformations au passage des

charges : le pont ferroviaire sur la Tees a dû être mis hors service pour cette raison quelques années après sa construction, vers 1830. Cette grande flexibilité avait d'autres conséquences tout aussi graves : en 1831, le pont de Broughton s'est effondré au passage d'une troupe marchant au pas cadencé, qui avait produit des vibrations forcées ; l'ouvrage de la Basse-Chaine, à Angers, s'est écroulé en 1850 dans des circonstances semblables, bien que d'autres explications aient été avancées. À partir de 1840, les ingénieurs ont cherché à augmenter la rigidité des tabliers pour éviter ces accidents, mais ce n'est qu'à la fin du siècle, sous l'influence d'ingénieurs comme Roebling et Arnodin, que sont apparues les véritables poutres de rigidité.

L'effondrement du pont de Tacoma Narrows, le 7 novembre 1940, quatre mois après sa construction, mit en évidence des phénomènes aérodynamiques insoupçonnés jusqu'alors (cf. AÉRODYNAMIQUE). Un vent de vitesse modérée (de l'ordre de 18 mètres par seconde) a pu produire des oscillations de flexion qui ont été entretenues et amplifiées par couplage avec la torsion de l'ouvrage, dont la période propre était très voisine. Les études aéroélastiques et de réponse aux effets du vent turbulent sont donc essentielles aujourd'hui pour les ponts de très grande portée, et conditionnent largement la conception.

Mais, actuellement, les ponts suspendus ont perdu une grande partie de leur domaine d'emploi au profit des ouvrages à haubans, dont certains ont déjà été bâtis dès le début du XIX^e siècle. Mais comme leurs tabliers étaient aussi insuffisants que ceux des ponts suspendus de l'époque, et qu'ils ne bénéficiaient pas de la rigidité apportée par les grands câbles porteurs, ils se sont très vite effondrés : les ponts sur la Tweed, en 1818, et sur la Saale, en 1825. Ce qui jeta un large discrédit sur ce type de structure. À la fin du siècle, des haubans furent ajoutés sur certains ponts suspendus pour faciliter la construction et rigidifier en flexion longitudinale les zones proches des pylônes : le pont de Brooklyn et celui du Bonhomme sur le Blavet en comptent un certain nombre. En France, Gisclard développa un système extrêmement proche du haubanage direct (pont de la Cassagne sur la ligne de chemin de fer de Montlouis en 1909) qui fut repris pour la construction du pont de Lézardrieux sur le Trieux en 1924. Le système fut apuré dans deux ouvrages révolutionnaires en béton : l'aqueduc de Tampul édifié par Eduardo Torroja en Espagne, et le pont sur le canal de Donzère-Mondragon bâti par Albert Caquot

en 1952. Ce sont les ingénieurs allemands qui ont largement développé ce système de construction à partir de 1955, et l'ont amené à un haut degré de perfectionnement sous l'influence de Helmut Homberg et surtout de Fritz Leonhardt : le pont de Strömsund, en Suède, a été construit en 1955, ceux de Düsseldorf en 1957, celui de Severin à Cologne en 1959, de Leverkusen en 1965.

L'invention du béton

Un autre grand chapitre de la construction s'est ouvert au XIX^e siècle avec l'invention du béton, du béton armé et, plus tard, du béton précontraint. Les Romains utilisaient déjà des liants hydrauliques tels que les mortiers de chaux, et même de chaux hydraulique, mais la technique fut perdue avec les grandes invasions, et les constructeurs n'ont plus utilisé que la chaux grasse ou la chaux maigre pour jointoyer des ponts en maçonnerie. Chaptal en France et Parkes en Angleterre redécouvrirent les ciments naturels à la fin du XVIII^e siècle (pouzzolanes, roches argilo-calcaires de l'île de Sheppy), puis Vicat inventa le ciment artificiel en 1818. Mais c'est un ingénieur anglais, Apsidin, qui déposa en 1824 les brevets du ciment Portland artificiel. Bien que l'on connaisse depuis la haute Antiquité des antécédents d'armatures primitives pour renforcer des constructions en maçonnerie, le béton armé n'a été inventé que vers 1850 par Lambot, qui a fabriqué une barque en ciment armé d'un quadrillage de barres de fer et qui a déposé le brevet en 1855 (cf. BÉTON). En 1852, François Coignet enrobe des profilés de fer dans du béton pour construire une terrasse à Saint-Denis. Mais c'est un troisième Français, jardinier à Versailles, Joseph Monier, qui a fait du béton armé un véritable matériau de construction : il a commencé par fabriquer et breveter des caisses à fleurs en ciment armé de fers ronds (1867), puis a déposé des brevets pour des tuyaux, des ponts, des passerelles (1873) et des poutres (1878). Le Français François Hennebique construit les premiers grands ouvrages : les premières dalles en béton armé en 1880, le premier grand pont en béton armé à Châtellerault en 1899 (pont à trois arches de 40, 50 et 40 m de portée), et le célèbre pont en arc du Resorgimento à Rome, sur le Tibre, qui dépasse en 1911 les plus grandes voûtes en maçonnerie avec une portée de 100 m. Si des inventeurs géniaux ont pu construire très vite en béton armé, le fonctionnement de ce matériau n'a été compris et modélisé que peu à peu par des ingénieurs allemands

(Koenen, Mörsch), suisse (Ritter) et français (Considère, Mesnager, Harel de La Noe et Rabut) : le béton est fissuré dans les zones tendues de l'ouvrage où seules résistent les armatures passives, liées au béton par adhérence.

L'utilisation du béton armé s'est largement développée à partir du début du XX^e siècle pour la construction de dalles de couverture, de ponts en dalle, de ponts à poutres sous chaussée à âmes pleines, ou à poutres en treillis sous chaussée ou à poutres latérales en treillis (comme celui de la rue La Fayette à Paris, réalisé par Albert Caquot en 1928), ou de ponts en bow-string qui en constituent une forme particulière (ainsi le pont de l'oued Mèlègue en Tunisie, construit par Henri Lossier en 1927, celui de la Coudette achevé par Nicolas Esquillan en 1943). Tous ces ouvrages en treillis ont été bâtis à l'imitation des ponts métalliques. Mais le béton armé est mal adapté à ce type de structures où de nombreuses pièces sont en tension : la passerelle d'Ivry, sur la Seine, en est une caricature extrême. Le domaine d'emploi privilégié du béton armé a été la construction des ponts en arc, pour lesquels le béton qui résiste bien à la compression est particulièrement adapté. Les arcs sont de plus en plus surbaissés : en 1911, Eugène Freyssinet construit le pont du Veudre sur l'Allier avec trois arches de 68, 72,5 et 68 m de portée, avec des articulations aux clefs. Freyssinet découvre alors le fluage du béton : la mise en compression de l'arc par enlèvement de l'échafaudage produit un raccourcissement élastique parfaitement classique, qui se poursuit dans le temps jusqu'à devenir deux ou trois fois supérieur ; le béton flue sous la charge, et les effets du retrait hydraulique s'y ajoutent. Pour compenser ces déformations inattendues, Freyssinet dispose des vérins de décintrement aux clefs. Les records se succèdent alors : pont de la Caille sur le ravin des Usses, 137,50 m (Caquot, 1928) ; celui de Plougastel sur l'Elorn avec trois arches de 172 m d'ouverture (Freyssinet, 1930) ; celui du río Esla en Espagne, 192,4 m (1942) ; celui de Sandö en Suède, qui constitue un bond en avant considérable avec une ouverture de 264 m (1943) ; celui d'Arrabida à Porto, 270 m (1963) ; celui qui franchit le río Paraná entre le Brésil et le Paraguay, 290 m (1964) ; et l'ouvrage de Gladesville à Sydney, 304,8 m (1964).

Inventé par Eugène Freyssinet qui en dépose les brevets en 1928, le béton précontraint commence à supplanter le béton armé au milieu des années cinquante. Son principe consiste à comprimer le béton de la structure par des câbles fortement tendus ;

on utilise aujourd'hui des fils et des torons de précontrainte dont la résistance à la traction est voisine de 1 800 MPa et qui sont tendus à plus de 1 400 MPa. Aux débuts de la précontrainte, Freyssinet tendait des fils de 5 mm de diamètre à 800 MPa ; une aussi forte tension initiale était indispensable pour que la précontrainte ne disparaisse pas avec le fluage et le retrait du béton, et avec la relaxation de l'acier. Si les efforts de précontrainte sont suffisants et bien placés, la totalité des sections de béton reste comprimée ; le béton ne subit plus de fissuration et l'ouvrage devient capable de supporter des charges qui, si elles étaient appliquées seules, produiraient des efforts de traction. Pour que les câbles puissent être tendus, ils sont placés dans des gaines noyées dans le béton, qui sont injectées au coulis de ciment après la mise en tension des câbles et leur ancrage à leurs extrémités ; cette injection permet de reconstituer l'adhérence et d'assurer une protection contre la corrosion. Grâce à un tracé judicieux des câbles de précontrainte, il devient possible de bâtir les structures les plus audacieuses, et surtout de développer des méthodes de construction que ne permettait pas le béton armé. Les premières réalisations de Freyssinet datent de l'avant-guerre : le renforcement de la gare maritime du Havre en 1934, les conduites pour les travaux d'Oued Fodda en Algérie en 1936. En Allemagne, quelques constructions méritent d'être signalées : le pont sur la gare d'Aue avec des barres de précontrainte extérieures au béton (Franz Dishinger, 1936) – mais il ne s'agit pas encore d'une véritable précontrainte, à cause de la faible limite d'élasticité des barres utilisées : les pertes par fluage et retrait du béton sont trop importantes, et il a fallu retendre les barres du pont d'Aue en 1962 et en 1983 – ; le pont-route d'Oelde en Westphalie, avec des barres de précontrainte prétendues avant coulage du béton (Wayss und Freitag, 1938) ; et l'ouvrage de Rheda-Wiedenbrück, également avec des barres de précontrainte extérieures (Finsterwalder, 1938).

Le véritable essor du béton précontraint date de l'après-guerre, avec le pont de Luzancy sur la Marne, commencé en 1941 et achevé en 1946, et avec la série des cinq autres ponts de Freyssinet sur la Marne entre 1947 et 1950 (Esbly, Annet, Trilbardou, Changis et Ussy) ; il s'agit d'ouvrages à une travée à petites béquilles obliques articulées dont la portée atteint 55 m à Luzancy et 74 m pour les cinq autres. Les ponts à travées constitués de poutres préfabriquées et précontraintes sous chaussée se multiplient à partir de la fin de la guerre : pont de Bourg d'Oisans, 42 m en 1946 ; pont du lac Ponchartrain

aux États-Unis, long de 38 km et constitué de 2 232 travées de 17 m, en 1956. En Allemagne, Ulrich Finsterwalder développe la construction par encorbellements successifs à partir de 1950 (ponts de Balduinstein et de Neckarrens en 1950, de Worms en 1952 et de Coblenz en 1953) : chaque fléau est construit symétriquement à partir de sa pile, par des équipages mobiles ; lorsque le béton est durci, on tend des câbles de précontrainte, dits de fléau, d'une extrémité à l'autre du fléau pour solidariser les deux nouveaux voussoirs et assurer la résistance sous l'effet du poids propre ; puis on lance vers l'avant l'équipage mobile pour recommencer l'opération. Cette technique, introduite en France par Jean Courbon, a été utilisée pour le pont de Chazey, en 1957, et ceux de Beaucaire et de Savine. Dans ces premiers ouvrages, les fléaux étaient encastés sur leurs piles et les travées articulées aux clefs ; mais le manque de maîtrise des efforts de précontrainte dans ces premières constructions et les effets du retrait et surtout du fluage du béton (qui produit des redistributions des efforts hyperstatiques) ont provoqué des déformations importantes : l'abaissement de la clef a atteint plusieurs dizaines de centimètres au pont de Bendorf sur le Rhin (par Finsterwalder en 1964, avec une travée centrale de 208 m), et il a fallu démolir certains de ces ouvrages d'avant-garde. La technique a été améliorée en France par la constitution de poutres continues, et surtout par le développement par Campenon Bernard des voussoirs préfabriqués conjugués-collés. Les tronçons de ponts en caisson – les voussoirs – sont préfabriqués sur banc, dans la position qu'ils auront dans l'ouvrage, et en moulant le nouveau voussoir contre l'ancien pour en reproduire exactement les formes. Ils sont ensuite posés avec un film de colle dans les joints entre voussoirs et des "clefs d'emboîtement" pour permettre le transfert des efforts ; la résistance est alors assurée par les câbles de précontrainte (pont de Choisy-le-Roi en 1965 ; pont d'Oléron en 1966).

Les plus grands ponts qui ont été construits par encorbellements successifs sont ceux de la baie Urado (230 m) et de Hamana (240 m, en 1977) au Japon, et celui de Brisbane en Australie (260 m en 1986). En France, les deux plus grands sont les ponts de Gennevilliers (1976) et d'Ottmarsheim (1979) avec une portée de 172 m.

D'autres méthodes de construction ont été développées en Allemagne : la construction travée par travée sur cintre autolanceur et la mise en place par poussage. La première méthode fait appel à un cintre outil métallique extrêmement lourd (de 200 à 600

t selon la portée de l'ouvrage et la largeur du tablier), qui peut être lancé vers l'avant en ne s'appuyant que sur la partie déjà réalisée de l'ouvrage et sur ses appuis définitifs ; une fois en place, le cintre est capable de supporter le poids de la travée à construire (pont de Bremeke et, en France, viaducs de l'autoroute Roquebrune-Menton en 1970 ; viaducs d'accès au pont de Martigues sur la passe de Caronte en 1974). Le coût des cintres autolanceurs a conduit au développement de la technique du poussage par Fritz Leonhardt (pont sur le río Caroni au Venezuela en 1964) : l'ouvrage est bétonné au sol en arrière d'une des culées, par tronçons successifs, et il est poussé vers l'avant dans son ensemble à l'aide de vérins, par étapes successives correspondant aux phases de bétonnage, après la construction d'un tronçon ou l'achèvement d'une travée. Des équipements permettent de limiter les moments de porte-à-faux dans les phases les plus défavorables (avant-bec de poussage, mât de haubanage auxiliaire ou appuis provisoires intermédiaires). Cette technique, introduite en France par Spie Batignolles, a servi à l'aqueduc de l'Abéon en 1968, au viaduc de la Boivre près de Poitiers en 1970, à ceux du Luc, du Var, de l'Oli et de la Nuec sur l'autoroute A8 près de Nice de 1972 à 1978, et a été largement diffusée depuis lors. C'est par cette méthode qu'ont été mis en place les grands viaducs en béton précontraint de la ligne Paris-Sud-Est du train à grande vitesse (viaducs de la Roche, de la Digoine, du Serein et de la Saône), puis du T.G.V. Atlantique (viaducs de Vouvray et du Cher).

Le développement de la précontrainte et de la construction par encorbellements successifs a redonné une impulsion à la construction des arcs, essentiellement sous l'influence des ingénieurs yougoslaves, Ilia Stojadinovic et Stanko Sram. Au lieu de bétonner l'arc sur un échafaudage ou un cintre – qui sont extrêmement coûteux –, ils ont construit les grands arcs de Sibenik (256 m, 1964), Pag (193 m, 1966) et surtout de Krk (244 et 390 m, 1979) par encorbellements successifs à partir des culées, en soutenant les consoles par des haubans provisoires ancrés au rocher sur les rives. L'idée – originaire de Grande-Bretagne – s'est largement répandue en Autriche, en Allemagne, au Japon, en Afrique du Sud et en France (pont de Trellins, en 1985, et pont sur la Rance, avec une ouverture de 260 m). Une autre solution, imaginée par Ricardo Morandi, consiste à construire chacun des deux demi-arcs sensiblement à la verticale, comme on le faisait déjà pour le montage du cintre de certains arcs en béton armé, puis à les rabattre ensuite

l'un vers l'autre en les retenant par des câbles (passerelle de Lussia et pont de la Storms River en Afrique du Sud) ; l'idée a été reprise en Allemagne (Argentobelbrücke, 1985).

Enfin, le béton précontraint a permis la construction de quelques ponts suspendus (pont de Mariakerke en Belgique) et surtout de très nombreux ponts à haubans. C'est l'ingénieur italien Morandi qui a édifié les premiers grands ouvrages, avec des formes lourdes et coûteuses en matière, et avec des haubans très peu nombreux (pont du lac Maracaibo en 1962, avec des portées de 235 m ; pont de Wadi Kuf, en Libye, avec une portée de 282 m en 1972). Le premier grand pont à haubans moderne en béton précontraint est celui de Brotonne, construit par Jean Muller et Jacques Mathivat (portée de 320 m, 1977) avec un haubanage réparti repris des idées de Homberg pour les ponts métalliques.

3 *Les ponts modernes*

Aujourd'hui, dans leur grande majorité, les ponts sont des poutres en acier, en ossature mixte acier-béton ou en béton précontraint. Les grandes portées restent le domaine réservé des ponts à câbles, et les très petites portées, au-dessous de 10 à 12 mètres, celui du béton armé.

Les ponts en poutre

Les poutres en treillis métallique ont été pratiquement abandonnées en Europe au profit des poutres à âmes pleines sous chaussée. C'est une conséquence de l'évolution historique des coûts relatifs de la main-d'œuvre et de la matière. Jusqu'à la Seconde Guerre mondiale, le coût de la main-d'œuvre était assez faible tandis que le prix des matériaux – et tout particulièrement de l'acier – était très élevé. Il était donc intéressant de construire des treillis permettant de sensibles économies de matière, au prix d'assemblages complexes. Mais, avec l'augmentation du coût de la main-d'œuvre et la chute du prix des matériaux, la tendance s'est inversée. D'autant que l'amélioration des caractéristiques mécaniques de l'acier a limité la quantité de matière que permet d'économiser la complication de la structure. Dans leur grande majorité, les ponts métalliques sont donc construits avec des poutres à âmes pleines sous chaussée. Il arrive

encore, cependant, qu'on construise des ponts à poutres latérales en treillis – du type Warren ou Warren à montants – lorsqu'on ne dispose que d'un très faible espace entre l'obstacle à franchir et le niveau de la chaussée. On réalise aussi des ouvrages en treillis pour de très grandes portées, notamment au Japon, lorsque l'importance des efforts est telle que le treillis permet encore des économies sensibles de matière.

Les ponts à poutres à âmes pleines sous chaussée ont pratiquement la même structure, qu'il s'agisse d'ouvrages en acier à dalle orthotrope ou qu'il s'agisse de ponts en ossature mixte avec une dalle participante en béton. La dalle – orthotrope ou en béton – constitue la membrure supérieure de l'ossature, complétée par des poutres en I ou un caisson (ou plusieurs caissons). Les ouvrages en ossature mixte étaient souvent constitués de nombreuses poutres reliées par des entretoises ; la tendance est aujourd'hui de construire des ponts à deux poutres, dits bipoutres. Lorsque le tablier est étroit, ces poutres sont reliées par de simples entretoises. Lorsque le pont s'élargit, les efforts transversaux augmentent dans la dalle qui est alors précontrainte dans le sens transversal, comme pour le viaduc de la Somme sur l'autoroute A26. Mais on peut aussi, pour les ouvrages larges et très larges, multiplier les poutres principales, ou relier les deux poutres principales par des pièces de pont qui portent le hourdis supérieur en béton ; la dalle en béton travaille alors surtout dans le sens longitudinal. Les choix sont beaucoup plus limités dans le cas des ponts en acier : les deux poutres principales doivent obligatoirement être reliées par les pièces de pont qui supportent les augets, comme pour le viaduc d'Autreville. Pour des portées très importantes, ou lorsqu'on a besoin d'une grande rigidité de torsion dans les ponts courbes ou très en biais, voire pour des raisons esthétiques, on remplace les poutres en I par des caissons. Mais l'importance des contraintes de compression dans la membrure inférieure. La sous-estimation des risques de voilement de la membrure inférieure de ces caissons a conduit à de graves accidents au début des années 1970 (effondrements, en cours de construction, du pont de Vienne sur le Danube en 1969, de celui de Milford Haven en 1970, de Melbourne en 1970). On peut citer de nombreux ouvrages français à dalle orthotrope à un ou plusieurs caissons : pont de Chaumont sur la Loire (121,6 m) ; pont de l'Alma à Paris (110 m, 1970) ; pont de Cornouailles à Bénodet (200 m, 1973). Mais aussi des ouvrages en ossature mixte : pont de Belleville (84 m, 1970) ; viaduc de la Chiers à Longwy (110 m, 1985).

Ces ouvrages sont le plus souvent construits par lancement, ou poussage, tant que leur portée reste modérée, moins de 100 m environ. Lorsqu'il s'agit d'un pont à dalle orthotrope, il est évidemment lancé avec sa dalle ; mais, lorsque l'ouvrage est en ossature mixte, l'ossature métallique doit être lancée seule, ce qui détermine les dimensions des membrures supérieures des poutres ou des caissons. La dalle en béton armé est ensuite coulée en place. Plus récemment, les ingénieurs suisses ont imaginé de lancer une dalle préfabriquée sur la charpente métallique déjà en place.

Les formes des ponts en béton précontraint sont plus diverses, mais elles sont, elles aussi, guidées par les évolutions économiques. Entre les deux guerres, les tabliers des ouvrages en béton armé étaient le plus souvent constitués de poutres longitudinales nombreuses et peu espacées, reliées par des entretoises formant pièces de pont. Avec l'augmentation du coût de la main-d'œuvre, particulièrement important dans le prix des coffrages et avec la diminution du coût des matériaux, il est préférable de construire des ouvrages un peu plus lourds mais de formes plus simples. Ce qui explique le succès des ponts en dalle précontrainte. Pour les faibles portées, jusqu'à 15 ou 20 m, on construit des dalles rectangulaires. Lorsque la portée augmente, il faut accroître leur épaisseur et, pour que les efforts de poids propre ne deviennent pas excessifs, il faut les alléger. On crée alors des dalles à larges encorbellements, qui deviennent progressivement nervurées, lorsqu'on concentre la matière en une ou plusieurs nervures, pour des portées d'environ 20 à 35 m. Les nervures deviennent plus hautes et s'amincissent, devenant de véritables poutres rectangulaires lorsque la portée atteint 40 m. Mais le rendement géométrique – qui traduit l'efficacité mécanique de la section par rapport à son poids – n'augmente que lentement, passant de 0,33 pour une dalle rectangulaire à environ 0,42 pour un pont à nervures. Pour construire des ouvrages de portée supérieure à 50 m, il faut concentrer la matière sur les fibres extrêmes, au prix d'une complication du coffrage. Cela conduit aux sections en caisson, beaucoup plus efficaces, mais dont la fabrication est nettement plus difficile et plus coûteuse. Leur rendement géométrique est de l'ordre de 0,55 à 0,65. Il apparaît ainsi, sous la pression de l'économie, une correspondance à peu près parfaite entre les portées du pont et les formes de la section transversale. La méthode de construction intervient cependant comme correctif dans le choix de la section transversale. Si l'ouvrage est bétonné sur cintre ou sur cintre autolanceur, la distribution

des moments fléchissants de poids propre est proche de l'optimum ; on peut alors concevoir des ponts à nervures pour des portées nettement supérieures à 50 m. Si l'ouvrage est construit par encorbellements successifs, il apparaît d'importants moments négatifs de poids propre sur piles, juste avant la fin de la construction des fléaux ; une section en caisson, beaucoup plus efficace, s'impose alors de façon quasi systématique. Enfin, si l'ouvrage est mis en place par poussage, il apparaît des moments fléchissants importants en cours de lancement, alternativement positifs et négatifs ; il faut alors concevoir des sections assez hautes, nettement plus que pour les autres méthodes de construction, qui peuvent être à nervures jusque vers 40 m, mais qui doivent être en caisson au-delà.

Le développement de la préfabrication a légèrement modifié cet équilibre : le coût de la main-d'œuvre est plus faible en usine que sur le chantier, et les rendements sont plus élevés ; en outre, il est nécessaire de diminuer le poids des pièces pour réduire le coût des engins de manutention, de transport et de mise en place. Les ponts construits au moyen d'éléments préfabriqués – qu'il s'agisse de poutres sous chaussée ou de voussoirs destinés à reconstituer une poutre en caisson (voire à nervures) – ont donc des formes plus découpées et plus complexes, dans le but d'alléger les pièces. L'entreprise Bouygues a même imaginé des poutres en treillis spatial en béton précontraint (pont de Bubiyan au Koweït, en 1983 ; viaducs de Sylans et des Glacières sur l'autoroute A40, en 1988), mais l'économie de matière ne compense pas le prix trop élevé de la main-d'œuvre.

La largeur du pont intervient aussi dans la conception de la section transversale, particulièrement dans le cas des ouvrages en caisson dont la portée est supérieure à 50 m en général. À la fin des années 1960, la solution classique consistait à concevoir un caisson unique à deux âmes pour des ponts d'une dizaine de mètres de largeur, un caisson unique à trois âmes pour une largeur de 12 à 16 m (pont de Oissel sur la Seine, 1978), et à constituer le tablier au moyen de deux caissons parallèles à deux âmes (viaduc de Calix à Caen, 1974), ou même de trois caissons parallèles pour les ponts très larges (pont Saint-Jean à Bordeaux, 1968). Les ouvrages d'autoroute étaient alors fréquemment constitués de deux ponts parallèles et indépendants, chacun portant une chaussée autoroutière (pont d'Ottmarsheim, 1979). Au cours des années 1970, la tendance a été d'élargir le domaine d'emploi des caissons à deux âmes jusque vers 14 ou 15 m, et à trois âmes jusque vers 20

m, afin d'alléger la structure en réduisant le nombre des âmes, dans un but d'économie. Et les ingénieurs ont cherché à généraliser l'emploi des caissons à deux âmes quelle que soit leur largeur, en aménageant leur conception pour assurer leur résistance en flexion transversale : on construit aujourd'hui des caissons larges à deux âmes à hourdis supérieur épais, précontraint transversalement (viaduc de Poncin, 1986) ; des caissons larges à deux âmes avec un hourdis supérieur nervuré transversalement (pont de Saint-André-de-Cubzac, 1978 ; viaduc de Ponts-de-Cé ; pont de Saumur ; viaduc de l'Arrêt Darré ; pont à béquilles d'Auray, 1988 ; pont de Cheviré) ; et des caissons à deux âmes dont les larges encorbellements sont soutenus par des voiles minces inclinés, continus ou discontinus, qui prennent l'apparence d'âmes supplémentaires (viaducs et pont de la ligne de Marne-la-Vallée du R.E.R., 1977 ; ouvrage n° 36 de l'autoroute du Littoral à Marseille, 1986) ; ou soutenus par des bracons rectangulaires distants de trois ou quatre mètres (Erschachtalbrücke et Kochertalbrücke, en Allemagne). Grâce à cette évolution technique, on préfère aujourd'hui porter les autoroutes par des ponts à tablier unique de grande largeur, non seulement pour des raisons économiques, mais surtout pour améliorer l'esthétique des ouvrages et leur inscription dans le site.

La technique de la précontrainte évolue, elle aussi. Plusieurs ponts avaient été construits, aux débuts de la précontrainte, avec des câbles extérieurs au béton (les ponts allemands déjà cités ; les ponts de Villeneuve-Saint-Georges, de Vaux-sur-Seine, de Port-à-Binson et de Can Bia en France, vers 1950 ; les ponts de Magnel en Belgique...), mais la technologie des câbles intérieurs, mise au point par Freyssinet, s'était largement imposée. La précontrainte extérieure a été remise à l'honneur vers 1980, par Jean Muller aux États-Unis (ponts des Keys de Floride : Long Key, Channel Five, Niles Channel et Seven Mile ; viaducs et pont du Sunshine Skyway à Tampa). Les câbles de précontrainte extérieurs sont généralement ancrés sur les entretoises qui raidissent le caisson au-dessus des piles, et déviés dans les travées par des bossages en béton, ou des entretoises, pour leur donner un tracé optimal. Mais il ne peuvent être mis en place ainsi qu'après l'achèvement de la construction de la travée. Les ponts peuvent alors être édifiés travée par travée à l'avancement, à l'aide d'un échafaudage au sol (viaducs du métro de Lille), de multiples palées provisoires (viaduc de Saint-Agnant), d'une poutre de pose lançable (viaducs du Mass Transit System d'Atlanta) ou autolanceuse (la poutre de pose du pont

de Bubiyan, qui agit comme une véritable grue portant toute la nouvelle travée), ou d'un haubanage provisoire (viaducs du Vallon des Fleurs et de la Banquière ; viaduc de Frébuje). Ils peuvent être construits par encorbellements successifs à condition de mettre en œuvre, à mesure de la construction des fléaux, une précontrainte intérieure qui équilibre les moments négatifs de poids propre (pont de Chinon sur la Vienne) ; cette méthode permet aussi de mettre en place par rotation des fléaux, construits sur échafaudages au sol parallèlement à la rivière (pont sur le Loir à La Flèche), ou de mettre en place par poussage les deux moitiés d'un ouvrage, réalisées au sol sur chaque berge (pont de Cergy-Pontoise). Les ouvrages sont aussi mis en place par poussage, à condition de concevoir un schéma de précontrainte centré pendant le poussage, associant des câbles extérieurs définitifs et d'autres câbles provisoires, intérieurs ou extérieurs (viaduc sur la Somme à Amiens ; viaduc de Charix).

Une autre évolution importante vient des progrès dans la fabrication des bétons eux-mêmes. Au cours des années 1970, de nombreuses tentatives avaient été faites pour développer l'emploi des bétons légers, mais l'importance de la quantité d'énergie nécessaire à l'obtention des granulats légers fit perdre beaucoup de son intérêt économique à cette solution. Plus récemment, sous l'influence des progrès réalisés dans ce domaine aux États-Unis et dans les pays scandinaves, se développe l'emploi des bétons à hautes performances, et notamment l'utilisation de bétons dans lesquels une partie du ciment est remplacée par de la fumée de silice. Leur résistance varie de 60 à 80 MPa et peut atteindre 100 MPa dans certaines conditions ; leur utilisation est récente en France, mais la construction du pont de l'île de Ré, terminé en 1988, a clairement mis en évidence leur grand intérêt.

Les ponts à câbles, à haubans ou suspendus

Enfin, les ponts à câbles modernes, ponts à haubans et ponts suspendus, constituent les seules solutions adaptées aux très grandes portées. Les ouvrages à haubans commencent à devenir plus économiques que ceux en poutre à partir de 200 m environ. Mais il arrive qu'on construise des ponts à haubans ou même des ponts suspendus de portée beaucoup plus modeste pour des raisons esthétiques, ou du fait de contraintes particulières. Les passerelles pour les piétons et les cyclistes constituent un domaine

d'emploi particulièrement intéressant des ponts à haubans : celle au Havre, avec un tablier en ossature mixte ; les passerelles en béton précontraint de Meylan sur l'Isère, près de Grenoble (1978), et de l'Illhof sur l'Ill, près de Strasbourg (1979), qui ont été bétonnées sur un échafaudage au sol, parallèlement à la rivière, et mises en place par rotation autour de leurs piles. Jorg Schlaich a même construit à Stuttgart deux passerelles suspendues, dont l'une sur le Neckar, avec un tablier en dalle mince de béton armé.

Beaucoup de ponts à haubans construits ces dernières années en béton précontraint ont été fortement inspirés du pont de Brotonne, avec une nappe de haubanage axiale et une section transversale en caisson, complétée par un système de bracons permettant de transférer au bas des âmes l'effort de tension des haubans : le pont de Coatzacoalcos au Mexique (1984) et celui du Sunshine Skyway à Tampa, en Floride (1986), tous les deux construits par encorbellements successifs ; le pont de Ben Ahin, mis en place par rotation autour de son pylône en s'inspirant des passerelles de Meylan et de l'Illhof (1987) ; celui de Wandre, sur la Meuse en Belgique, installé par poussage sur des appuis provisoires, en 1987. Mais la mise en place de multiples haubans répartis permet de concevoir des tabliers de beaucoup plus faible inertie ; et le remplacement de la nappe de haubanage axiale par des nappes latérales, capables d'équilibrer directement les efforts de torsion, autorise la conception de tabliers qui n'ont, en outre, qu'une faible rigidité de torsion. Le pont de Pascoe Kennewick, en 1979, est la première application de ces idées : la section transversale est constituée de deux petits caissons triangulaires, réunis par un hourdis entretoisé. Cette solution a logiquement évolué vers la construction de tabliers à deux nervures latérales, reliées par un hourdis mince et des entretoises formant pièce de pont : ouvrage de Quincy, avec des entretoises métalliques, et de Dames Point, à Jacksonville en Floride, à travée centrale de 400 m (1988). René Walther et Jorg Schlaich sont allés au bout de l'idée en concevant des dalles haubanées : le pont de Dieppoldsau en Suisse, en 1986, l'Akkar Bridge dans le Sikkim, en 1988, et l'ouvrage d'Evripos en Grèce, en 1990, avec une travée centrale de 215 m. Le record du monde est actuellement détenu par le pont de Barrios de Luna (1986), sur l'Èbre en Espagne, avec une portée de 440 m.

Les ponts à haubans métalliques les plus anciens comportent un plattelage orthotrope : celui de Saint-Nazaire a détenu, pendant longtemps, le record du monde de

portée (404 m, 1975) avec son caisson orthotrope de forme quasi rectangulaire ; l'ouvrage du Faro, au Danemark, a une section nettement plus profilée, mais de conception voisine. Le Düsseldorf Kniebrücke, en 1969, et le Düsseldorf Flehe, en 1979, ne comportent qu'un seul pylône ; avec leurs portées de 320 et 368 m, ils constituent les plus grands fléaux haubanés du monde, les plus longs câbles dépassant 300 m. Depuis une dizaine d'années, les tabliers en caisson orthotrope – ou à poutres réunies par un platelage orthotrope et des entretoises – sont remplacés par des tabliers en ossature mixte. Le record du monde actuel est détenu par le pont d'Anacis, au Canada, avec une portée de 465 m (1986) ; le tablier est constitué de deux poutres latérales de faible hauteur, réunies par des pièces de ponts, également métalliques, et par une dalle en béton armé réalisée à partir d'éléments préfabriqués. En France, le pont de Seyssel (1987) est encore le seul exemple de ce type.

Quelques rares ouvrages associent le béton précontraint et la construction métallique. C'est le cas du pont de Tampico au Mexique, dans lequel les travées d'accès de chaque côté sont en béton précontraint, ainsi que les amorces de la grande travée, dont la partie centrale est constituée par un caisson orthotrope. C'est aussi le cas du pont de Normandie sur la Seine, entre Le Havre et Honfleur, dont la construction a démarré en 1989 et s'est achevée en 1995 ; il constitue un nouveau record du monde avec sa travée centrale métallique de 856 m de portée, en caisson orthotrope profilé. La hauteur des pylônes est de 215 m.

De nombreux experts considèrent qu'il est possible de construire des ouvrages à haubans jusqu'à 1 500 m de portée. Mais, pour l'instant, les très grandes portées – à partir de 800 m – restent l'apanage des ponts suspendus. Deux grandes écoles s'affrontent aujourd'hui. D'un côté, l'école américaine, avec des ouvrages dont le tablier est un treillis métallique de grandes dimensions, et bien souvent à deux étages de circulation : le pont de Mackinac, construit en 1957 par D. B. Steinman, sur le détroit qui sépare le lac Michigan du lac Huron, est le premier grand ouvrage édifié après l'écroulement du pont de Tacoma, avec une portée centrale de 1 158 m ; il précède de peu le pont du Verrazzano à New York (1 298 m, 1964). Cette école américaine a largement inspiré la construction en Europe : le pont de Tancarville, réalisé en 1959 sous la direction de Marcel Huet, a détenu quelques années le record d'Europe avec 608 m ;

ce fut ensuite l'ouvrage du Firth of Forth (1 006 m, 1964), puis le pont sur le Tage à Lisbonne (1 013 m, 1966). Les grands ouvrages suspendus japonais sont construits suivant les mêmes principes : le Kammon Bridge (712 m) n'a été que le prototype d'une impressionnante série, puisque une douzaine de ponts dépassent ou dépasseront cette portée ; la liaison centrale entre l'île principale, Honshu, et l'île de Shikoku en comporte trois, celui de Shimotsui Seto (940 m) et les ponts nord et sud de Bisan-Seto (respectivement 990 m et 1 100 m), tous achevés en 1988 ; la liaison est de Honshu à Shikoku comportera un ouvrage bien plus exceptionnel, sur le détroit d'Akashi Kaikyo, dont la portée devrait approcher les 2 000 m et dont la construction a commencé en 1989.

L'autre école est anglaise, fortement inspirée par des travaux de Fritz Leonhardt qu'il n'a jamais pu concrétiser. Deux idées majeures dominent la conception. La première consiste à remplacer le tablier en treillis des ponts suspendus classiques par un caisson orthotrope très mince, dont le profilage permet de réduire les efforts produits par le vent et d'assurer la stabilité aéroélastique. La seconde est d'utiliser des suspentes inclinées à la place de suspentes verticales ce qui constitue, avec les câbles porteurs et le tablier, une poutre en treillis de hauteur variable, qui permet un bon étalement des charges routières. La première application a été la construction en 1966 du pont sur la Severn en Angleterre (988 m), suivie par celle du premier ouvrage sur le Bosphore à Istanbul en 1973 (1 074 m), puis par celle du pont sur la Humber (1 410 m) en 1981, qui détient actuellement le record du monde de portée. Tous ont été projetés par le bureau Freeman, Fox & Partners. Le deuxième ouvrage sur le Bosphore est achevé, mais avec des suspentes verticales, pour tenir compte de certaines critiques et des désordres qui ont été constatés sur les suspentes du pont de la Severn, qu'il a fallu remplacer.

De nombreuses solutions sont aujourd'hui imaginées pour construire des ponts de 2 000 m de portée ou plus. Le franchissement des grands détroits est une occasion de développer ces idées : les projets d'ouvrages pour le franchissement du détroit de Messine, de la Manche, du détroit de Gibraltar et du détroit de Patras sont autant de prototypes des grands ouvrages du XXI^e siècle.

4 *Les ponts spéciaux*

Certains ponts sont tout à fait particuliers, du fait de leurs fonctions ou de leurs conditions de fonctionnement.

Les ponts-canaux sont rares aujourd'hui, car les voies de navigation modernes sont de plus en plus limitées aux basses vallées des grands fleuves : le pont-canal de Toulouse est, en France, le seul exemple récent.

Les ouvrages mobiles sont plus nombreux. Il en existe plusieurs types. Les ponts levants sont constitués d'un tablier aussi léger que possible, en treillis métallique, et de deux tours qui permettent de loger les contrepoids qui équilibrent la masse du tablier. La descente des contrepoids permet un levage rapide du tablier pour laisser le passage aux navires. Les plus grands ponts-levants français sont le pont de Recouvrance sur le Penfeld, à Brest (88 m, 1954), et celui du Martrou sur la Charente (92 m, 1966). Les ponts basculants sont constitués d'un ou de deux fléaux équilibrés, avec une console aussi légère que possible pour franchir la brèche, équilibrée par un contrepoids arrière qui pénètre dans une culasse en béton armé. Le basculement du fléau, autour de son axe d'appui, permet le passage des navires. Le pont de Martigues, à l'entrée de l'étang de Berre, comporte deux fléaux de 27,50 m (1962) ; celui de l'écluse François Ier, au Havre, comporte un seul fléau de 74 m ; enfin, le pont de Bizerte en est une copie fidèle. Il existe aussi des ouvrages tournants : un fléau équilibré tourne autour d'un axe vertical à terre, sur une rive pour les petits ouvrages, ou sur chacune des deux rives pour des portées plus importantes, ce qui dégager un chenal navigable. On peut aussi faire tourner un fléau unique et symétrique autour d'une pile séparant le chenal en deux bras. On construit également des ponts roulants : le fléau, toujours équilibré par un contrepoids, est retiré vers l'arrière en descendant légèrement pour pouvoir pénétrer à l'intérieur d'une culasse en béton armé.

B

*Renseignements de base sur les structures*⁴⁵

Vous trouverez ci-dessous les réponses à des questions souvent demandées au sujet de structures - des ponts et des tours. Vous pouvez aussi explorer d'autres sujets touchant à notre programme scolaire « Structures et formes ».

- Pourquoi avons-nous besoin de ponts?
- Quelles formes les ponts peuvent-ils avoir?

- Pont à poutres, pont en arc, pont suspendu

- Quelles formes sont les plus solides?

- Carrés, Triangles, Tubes

- Qu'est-ce qu'une ferme de pont?
- Est-ce que le type de matériau exerce une influence sur la solidité d'un pont?
- La Tour CN

Pourquoi avons-nous besoin de ponts?

Les ponts nous permettent de passer d'un bord d'un cours d'eau à l'autre. Anciennement, les ponts permettaient le commerce entre les cultivateurs, et le mouvement des marchandises d'un bord à l'autre des séparations naturelles.

Les premiers êtres humains posaient souvent des pierres aux endroits peu profonds d'un petit cours d'eau comme moyen de passer d'un côté à l'autre.. Il est facile d'imaginer comment ce genre de pierre pourrait servir de base à des billes ou des planches servant d'appui à un pont. Le premier pont a probablement été un arbre qui s'est écrasé en travers d'un cours d'eau.

Est-ce que les ponts enjambent toujours un cours d'eau?

⁴⁵ <http://www.sciencetech.technomuses.ca/francais/schoolzone/basesurstructures.cfm>

Non, ils peuvent aussi enjamber une route, une voie ferrée, un fossé profond. Les ponts ne sont pas destinés uniquement aux voitures et aux personnes. Les ponts sur chevalets ont eu une importance capitale pour le passage des voies ferrées à travers les montagnes de l'Ouest canadien.

Les ponts qui enjambent une rivière permettent à l'eau de passer aisément à travers les « trous du pont ».

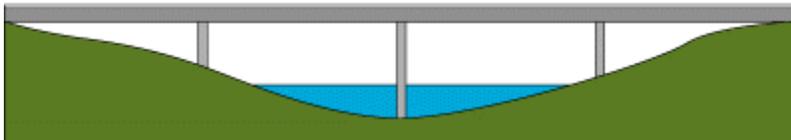
Les ponts permettent de franchir un obstacle (rivière, route, ravin) sans avoir à modifier l'obstacle.

Quelles formes les ponts peuvent-ils avoir?

Il existe trois formes courantes :

- Pont à poutres
- Pont en arc
- Pont suspendu

Pont à poutres



Une poutre est une grosse pièce de bois équarrie qui sert de support. Les premiers ponts étaient probablement constitués de billes de bois.

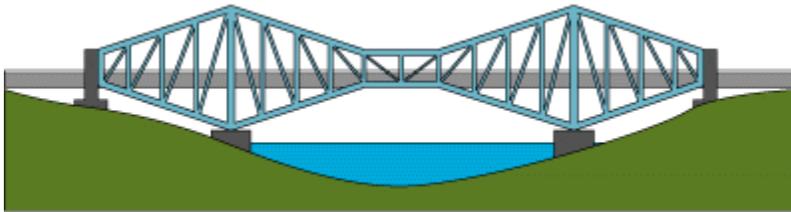
"«*pile*» : " l'appui du pont
Quelle hauteur faut-il prévoir pour les piles? Tout dépend de ce qui doit passer sous le pont.

"«*travée* » : " la distance d'une pile à l'autre
La travée est fonction de la solidité et de la masse de la poutre. Plus le

matériau est épais, plus grande sera la masse qu'il peut supporter. Plus un matériau est épais, plus la travée peut être grande. Toutefois, plus le matériau est épais, plus le pont est lourd, donc il lui faut plus de support. Une poutre très solide risque d'être trop lourde pour la «travée» et de fléchir dans la rivière. Il est possible d'alléger la poutre en ayant recours à une ferme.

Y a-t-il une autre façon d'allonger la travée?

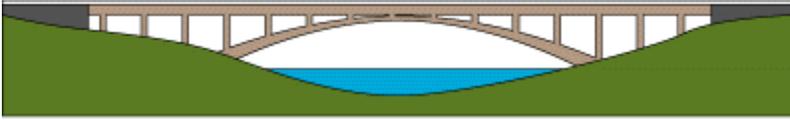
Il existe un type de pont à poutres appelé un cantilever. Il ressemble à un levier.



Imaginons un levier, balancé sur un point d'appui, dont une extrémité est ancrée au sol. L'autre extrémité peut supporter une masse considérable. Imaginons deux leviers de l'un et l'autre côté d'une séparation, chaque levier comportant une extrémité fixée au sol, un peu comme deux tremplins installés de chaque côté d'une rivière. On pourrait alors balancer une poutre sur ces deux tremplins. Les deux leviers fixes pourraient supporter la poutre centrale. C'est ainsi qu'un pont cantilever peut enjamber une rivière assez large.

[image du pont de Québec](#)

Pont en arc



Un arc est constitué de voussoirs et d'une «clef de voûte» qui est le voussoir au sommet de l'arc. Un pont en arc doit sa solidité à la «poussée» exercée par l'arc. Les ponts en arc peuvent être très longs puisque plusieurs arcs peuvent se suivre en une ligne continue.



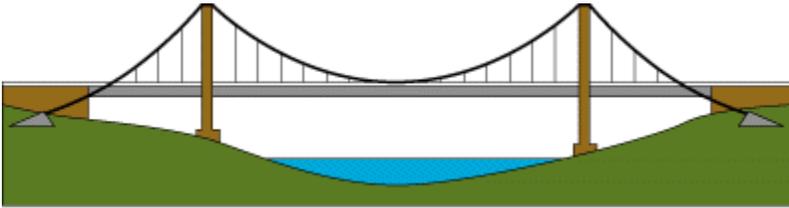
Dans le cas d'un arc à très faible élancement, les premières assises doivent être ancrées au sol, le plus souvent à l'aide d'un mur porteur.

Pour expliquer aux élèves le principe de la compression ou «poussée», saisissez, sur un étagère, cinq ou six livres en serrant les deux livres aux extrémités et en les soulevant. Les livres restent collés les uns contre les autres puisque vous exercez une «poussée». Est-il possible de poser un autre livre par-dessus les autres. Tout dépend de la pression exercée contre les livres aux deux extrémités.

Pont « Peace »

Pouvez-vous nommer une structure tridimensionnelle qui fait appel au même principe qu'un pont en arc?

Pont suspendu



Les ponts suspendus sont en réalité des ponts en arc qui sont inversés, et dont la solidité dépend de la «traction» et non plus de la «poussée» comme dans les ponts en arc. Les ponts suspendus peuvent enjamber des distances beaucoup plus grandes que tout autre type de pont.

Les ponts suspendus sont très souples, ce qui ne pose aucun problème, pourvu que l'oscillation du pont soit différente de la force répétitive du vent. Autrement, le mouvement oscillatoire pourrait être amplifié, causant la désintégration du pont.

Pont Tacoma Narrows

Quel véhicule ne pourrait pas se déplacer sur un pont suspendu?

Quelles formes sont les plus solides?

- Carrés
- Triangles
- Tubes

À l'aide de bâtons en carton et d'épingles, construisez un carré et un triangle. Essayez d'enfoncer les côtés. Le triangle résiste, mais le carré cède, à moins que les angles ne soient renforcés. Vous pourriez construire un renfort pour le carré à l'aide d'une pièce diagonale, ce qui reviendrait à construire deux triangles.

Le triangle est la forme la plus solide. On utilise des triangles pour construire des formes très solides appelées fermes.

Une autre forme très solide est le tube. Il suffit de penser au cadre d'une bicyclette ou à des poushes de bambou.

Voici une expérience à présenter à vos élèves.

Une feuille de papier journal peut-elle supporter un livre?

Il s'agit de la plier deux fois sur la longueur et de la rouler pour former un tube. Ce tube de papier journal est assez solide pour supporter un livre.



Qu'est-ce qu'une ferme de pont?

Les ponts à poutres peuvent franchir une distance plus grande si la poutre est plus épaisse. Il y a une limite, toutefois, car une poutre trop épaisse va fléchir dans la rivière. Une solution possible consiste à construire une poutre constituée de triangles, c'est-à-dire une «ferme», qui est beaucoup plus légère qu'une poutre massive de même épaisseur. Une ferme est extrêmement solide et stable.

Image d'une ferme de pont

Est-ce que le type de matériau exerce une influence sur la solidité d'un pont?

La forme est importante pour ce qui est de la solidité, mais le matériau l'est aussi. Une poutre d'acier supportera un plus grand poids qu'une poutre en bois de même taille. De nos jours, les ponts sont construits en acier et en béton armé.

Une poutre en béton armé est constituée de barres d'acier encastrées dans le béton. Cette armature d'acier permet au béton de résister aux forces de traction engendrées lorsque des

poutres longues non soutenues sont soumises à une flexion sous l'effet de charges longitudinales importantes.

Notre propre Tour CN

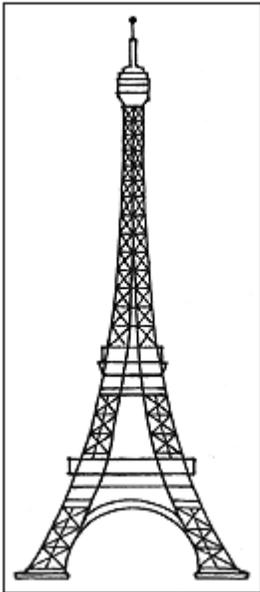
La Tour CN à Toronto, qui mesure 553 mètres, est la structure autoportante la plus élevée au monde.

Comment a-t-on construit cette tour?

Les ingénieurs en construction ont fait appel à un coffrage glissant. Des tiges verticales ont été mises en place et un coffrage a été construit autour des tiges, puis on a coulé le béton. Lorsque le béton a durci suffisamment pour supporter une masse, le coffrage (glissant) a été soulevé le long des tiges, et on a pu couler d'autre béton. Cette démarche a été répétée jusqu'à ce que l'on atteigne la hauteur désirée.

Graphique (en anglais)

Une autre tour



et une autre



C

LE VIADUC DE MILAU⁴⁶

La construction du Viaduc

Petit historique



⁴⁶ http://www.leviaducdemillau.com/version_html/construction.html

Une histoire hors du commun pour un ouvrage d'exception

Des premières ébauches de tracés réalisées en 1987 à la fin du chantier en décembre 2004, dix-sept années d'études et de travaux auront été nécessaires pour que le chaînon manquant de l'autoroute A75 voie le jour. Le Viaduc de Millau, que certains n'hésitent pas à appeler le Pont du Gard du XXI^e siècle, constitue l'aboutissement d'une multitude d'étapes. Pour chacune d'elle, rigueur, précision et professionnalisme ont été les maîtres mots. Autant de conditions indispensables pour faire entrer cet ouvrage d'exception dans le livre des records.

Quatorze ans de préparation pour une aventure unique

1987 : les premières ébauches de tracés de l'A75 visant à relier le Causse Rouge (au Nord), et le Causse du Larzac (au Sud), voient le jour. Quatre tracés sont étudiés pour le franchissement de la vallée du Tarn : un «grand Est», un «grand Ouest», un tracé «proche de la RN9» et une option «médiane», également à l'Ouest de Millau..

1991 : la décision est prise, un pont sera construit à quelques kilomètres à l'Ouest de Millau, garantissant une bonne desserte locale et le respect de l'environnement. Une fois le tracé retenu, on étudie l'opportunité d'une « solution basse » qui suivrait les reliefs et celle d'une « solution haute » qui enjambrerait la vallée. En octobre, l'Etat opte pour la « solution haute » et lance un appel d'offres ; un ouvrage unique surplombera la vallée du Tarn. Bureaux d'études et architectes s'unissent alors ; 5 projets sont présentés en 1994.

1996 : à l'issue d'un appel d'offres, la solution conçue par l'ingénieur en chef des Ponts et Chaussées Michel Virlogeux, et dessinée par l'architecte Lord Norman Foster, est retenue. Un ouvrage d'art multi-haubané verra le jour dans le ciel aveyronnais. Son esthétisme et son intégration dans le paysage ont séduit les services de l'Etat. Il a été préféré à quatre autres projets : un pont à épaisseur constante, un pont à épaisseur variable, un viaduc sous-bandé et un ouvrage à arche centrale unique.

1998 : le gouvernement décide la mise en concession de la construction et de l'exploitation du viaduc. Cette dernière est fixée pour une durée de 78 ans, dont 3 ans de construction.

Trois ans pour un chantier de titans

2001 : en octobre, suite à un appel d'offres, l'alliance du béton (piles) et de l'acier (tablier) préconisée par le Groupe Eiffage reçoit les faveurs de l'Etat. Le béton possède toutes les qualités requises d'endurance. L'acier rend possible la construction d'un tablier mince et de faible poids. Le 14 décembre, l'aventure démarre avec la pose de la première pierre.

Le béton : quelques semaines auront suffi pour réaliser le terrassement. Dès le printemps 2002, les premières piles du Viaduc de Millau s'élèvent vers le ciel. Dans le même temps, les culées (points d'ancrage du tablier à ses deux extrémités) voient le jour sur les causses. Douze mois après le début des travaux, la pile « P2 » franchit la barre des 100 mètres. Un an plus tard, le 9 décembre 2003, le chantier béton est achevé dans les temps ! Avec, en prime, le record de la plus haute pile du monde, accroché à 245 m.

L'acier : L'assemblage du tablier d'acier débute au cours de l'été 2002. Deux chantiers à ciel ouvert sont installés en retrait des culées. Le 25 février 2003, un premier tronçon de tablier de 171 m part à l'assaut du vide : cette opération de lancement est un succès. 17 autres suivront, au rythme moyen d'un lancement toutes les quatre semaines. Le 28 mai 2004, à 14h12 précises, la jonction – ou clavage – des parties nord et sud du tablier est réalisée à 270 m au-dessus du Tarn. Mission réussie !

Puis tout s'enchaîne... Le 29 mai 2004, soit 24 heures après le clavage, l'installation des pylônes débute, suivie de la pose des 154 haubans destinés à soutenir le tablier. En trois mois, tout est terminé. Fin septembre, l'enrobé est appliqué sur le tablier. Aménagement de la chaussée, installation des systèmes de sécurité, éclairage, finition de la barrière de péage : le 14 décembre, l'ouvrage est inauguré par le Président de la République.

Le 16 décembre 2004 : Le Viaduc est mis en service.



Les chiffres-clés

Le Viaduc, un ouvrage de légende

Le Viaduc du Millau représente l'aboutissement d'une formidable histoire. De sa conception à sa réalisation, plusieurs centaines d'hommes ont uni leur énergie et leur ingéniosité pour participer à cette œuvre unique. Au plus fort des travaux, près de 600 compagnons travaillaient sur le chantier. Ils ont maîtrisé les technologies les plus avancées (laser, GPS...) pour piloter, au millimètre près, la construction de ce géant

d'acier et de béton. Pour cela, il n'aura fallu que trois ans, de décembre 2001 à décembre 2004.

La performance en chiffres

Longueur : 2 460 m

Largeur : 32 m

Hauteur maximale : 343 m, soit 19 m de plus que la Tour Eiffel

Pente : 3,025 %, en montée nord-sud (dans le sens Clermont-Ferrand – Béziers)

Rayon de courbure : 20 km

Hauteur de la plus haute pile (P2) : 245 m

Hauteur des pylônes : 87 m

Nombre de piles : 7

Longueur travées : 2 travées de rive de 204 m de portée et 6 travées courantes de 342 m de portée

Nombre de haubans : 154 (11 paires par pylône disposées en une seule nappe monoaxiale)

Tension des haubans : de 900 à 1 200 t. pour les plus longs

Poids du tablier d'acier : 36 000 t., soit 5 fois la Tour Eiffel

Volume de béton : 85 000 m³, soit 206 000 t.

Coût de la construction : 400 M€ (Viaduc + barrière de péage)

Durée de la concession : 78 ans (3 ans de construction et 75 ans d'exploitation)

Garantie de l'ouvrage : 120 ans

Les 6 étapes-clés de la construction

Présentation

Millau, surtout connu jusqu'ici pour ses bouchons, devient célèbre pour son pont au-dessus du Tarn. Un pont de 2 460 mètres, maillon indispensable à l'autoroute reliant Clermont-Ferrand à Béziers, qui désenclave toute une région. L'ouvrage, conçu par Sir Norman Foster et le groupement Europe Etudes Gecti - SERF -

Sogelerg, est réalisé par le Groupe Eiffage, spécialiste de génie civil et de construction métallique.

A la pointe de la technologie

La construction du Viaduc de Millau a fait appel à la plupart des techniques de pointe utilisées dans le monde des travaux publics. Jusqu'alors, aucun chantier n'avait réuni, en un seul lieu, un tel concentré de technologies. Laser, GPS, translateurs, coffrages auto-grimpants, enrobé spécifique, béton haute performance et matériaux innovants ont servi d'instruments à la réussite d'un ouvrage hors du commun.

Étape 1 : L'élévation des piles

Après les premiers réglages, les chantiers « béton » ont rapidement pris leur vitesse de croisière. Au rythme d'une levée de 4 mètres tous les trois jours pour chaque pile, celles-ci ont été achevées en moins de deux ans.

Étape 2 : Le lancement du tablier

Dix-huit opérations de lancement ont amené les deux parties du tablier au-dessus du Tarn. A chaque fois, plusieurs milliers de tonnes étaient avancées de 171 m. Un tour de force rendu possible grâce à l'utilisation de 64 translateurs.

Étape 3 : Jonction du tablier

La rencontre des tabliers sud et nord a eu lieu le 28 mai 2004 à 270 m au-dessus du Tarn. L'aboutissement de 21 mois de travail fut un moment d'intense d'émotion.

Étape 4 : L'installation des pylônes

Les pylônes ont été amenés couchés sur le tablier par quatre remorques automotrices. Pris en tenaille par d'immenses bras d'acier, ils ont été redressés à l'aplomb des piles de béton.

Étape 5 : Haubanage

Onze paires de haubans ont été installées en vis-à-vis sur chaque pylône. A l'intérieur des gaines de protection, plusieurs dizaines de torons (7 fils d'acier torsadés) ont été mis sous une tension définie par le bureau d'études.

Étape 6 : Finitions

L'enrobé (revêtement de chaussée) du Viaduc de Millau est le résultat de plusieurs mois de recherche. Il a été conçu pour résister aux déformations du tablier et présenter toutes les qualités de confort autoroutier. Sa pose a nécessité moins de quatre jours de travail.

Conclusion

Avec ses 2 460 mètres de long et ses 343 mètres de haut, le Viaduc de Millau devient l'ouvrage le plus haut du monde. Une nouvelle prouesse technique signée Eiffage.

La technique :un concentré de savoir-faire

Pile dans le temps

Sous chacune des 7 piles, 4 puits dits « marocains » de 9 à 18 mètres de profondeur pour un diamètre de 4 à 5 mètres, ainsi qu'une semelle de répartition de 3 à 5 mètres d'épaisseur, assurent les fondations et la stabilité du viaduc. Le bétonnage des semelles de répartition (jusqu'à 2 100 m³) est réalisé à la pompe en une seule phase. Dès mars 2002, les piles sortent de terre. Tous les 3 jours, chaque pile s'élève de 4 mètres. Cette performance est due en grande partie aux coffrages auto-grimpants. Grâce à un système de sabots d'ancrage et de rails fixés sur les fûts des piles, 25 minutes suffisent pour gagner la hauteur nécessaire à la préparation d'une nouvelle coulée de béton. Parallèlement aux piles, les culées sont construites sur le Causse du Larzac et le Causse Rouge. Il s'agit des structures de béton qui assurent l'ancrage du tablier à la terre ferme. Le 9 décembre 2003, les piles et les culées sont achevées. Pari tenu pour Eiffage TP avec quelques semaines d'avance sur le planning et, en prime, le record du monde de la plus haute pile pour « P2 ».

Les piles en chiffres...

Les piles du Viaduc de Millau sont numérotées de 1 à 7, du nord au sud de l'ouvrage. Voici leurs hauteurs respectives :

P1 : 94,5 m

P2 : 245 m

P3 : 221 m

P4 : 144 m

P5 : 136 m

P6 : 112 m

P7 : 77,5 m

Le tablier : 20 mois pour assembler 36 000 tonnes d'acier

Le tablier en acier du Viaduc de Millau se compose de 173 caissons centraux, véritable colonne vertébrale de l'ouvrage, sur lesquels ont été soudés les platelages et les caissons latéraux. Les caissons centraux, assemblés à l'usine de Fos-sur-Mer à partir d'éléments préfabriqués à Lauterbourg en Alsace, ont été amenés à Millau via Nîmes et le plateau du Larzac. Les convois exceptionnels, d'une hauteur de 4,20 mètres et d'une longueur de 15 à 22 mètres, peuvent peser jusqu'à 90 tonnes. Les éléments du platelage et les caissons latéraux ont, pour leur part, quitté l'Alsace, transité par Clermont-Ferrand puis par le Causse Rouge afin de rejoindre Millau. La largeur du tablier est de 32 mètres, tandis que sa masse totale avoisine les 36 000 tonnes. Deux chantiers à ciel ouvert ont été aménagés à l'arrière des culées, au nord et au sud du viaduc. Toutes les soudures et travaux d'assemblage y ont été effectués. 96 % des tâches ont ainsi pu être réalisées au niveau du sol, limitant d'autant le risque lié au travail à grande hauteur. 1 743 mètres ont été assemblés du côté sud, contre 717 du côté nord. De septembre 2002 à mai 2004, 20 mois de travail auront été nécessaires aux 150 compagnons chargés de construire le tablier.

Le lançage : Le tablier à l'assaut du vide

La mise en place du tablier d'acier sur les piles a fait appel à une technique de lançage particulière. Tronçon après tronçon (chacun de la longueur d'une demi-travée, soit 171 m), le tablier a été lancé dans le vide. Pour réussir cette performance, 64 translateurs ont été utilisés. Installés sur les piles et les palées provisoires (gigantesques béquilles d'acier servant d'appuis intermédiaires entre deux piles), ils ont permis de déplacer les 36 000 t du tablier. Chaque translateur est formé d'un bâti supportant le tablier. A l'intérieur de ce bâti, deux coulisses (cales) sont actionnées par des vérins. Celle du bas, la cale biaise, soulève la coulisse au-dessus qui prend en charge le tablier. Un vérin permet alors de déplacer l'ensemble sur 60 cm. La cale biaise est retirée et les translateurs reprennent

leurs positions initiales. Chaque translateur est relié à une centrale hydraulique pilotée par ordinateur, afin que leur mise en mouvement soit parfaitement synchrone. Au rythme d'une opération toutes les quatre semaines, il aura fallu dix-huit lançages pour amener les deux parties du tablier à l'aplomb du Tarn. Réalisé à la vitesse moyenne de 9 m/h, chaque lançage a demandé jusqu'à 48 h de travail non-stop. La jonction du tablier s'est effectuée le 28 mai 2004 à 14h12 au-dessus du Tarn.

Les pylônes : Sept mâts d'acier pour un viaduc

Dès le début des opérations de lançage, un pylône partiellement haubané a été positionné à l'extrémité de chaque partie de tablier pour éviter à celui-ci de ployer lors de son lançage entre une pile et l'autre. La mise en place des 5 pylônes manquants a débuté juste après la jonction des deux parties du tablier au-dessus du Tarn. Cette opération a été réalisée en seulement 3 mois. Couchés sur le flanc, c'est véhiculés par quatre remorques automotrices que les pylônes ont été amenés sur le tablier à l'aplomb de la pile de béton sur laquelle ils devaient être installés. Pris alors en tenaille légèrement au-dessus de son centre de gravité par deux immenses bras d'acier, chaque pylône (700 t et 87 m de long) a été progressivement soulevé par deux vérins développant une force totale de 2 000 t. Au cours de ces opérations, une bascule parfaitement contrôlée a permis de positionner les pylônes en position verticale, juste au-dessus de leur point d'ancrage. Ils ont alors été soudés sur le tablier.

Les haubans : 1 500 tonnes de câbles sous tension

Chaque pylône du Viaduc de Millau est équipé d'une nappe mono axiale de 11 paires de haubans disposés en vis-à-vis. Selon leur longueur, ces derniers se composent de 45 à 91 câbles d'acier, ou torons, eux-mêmes formés de 7 fils d'acier (un fil central avec 6 fils torsadés autour). Les haubans bénéficient de toute la technologie mise au point par Freyssinet. Chaque toron a reçu une triple protection contre la corrosion : galvanisation, enrobage de cire pétrolière et gaine en polyéthylène extrudé. L'enveloppe extérieure des haubans est elle-même équipée sur toute sa longueur d'un double bourrelet hélicoïdal. Le but de ce dispositif ? Eviter tout ruissellement d'eau qui provoquerait, en cas de grand vent, une mise en vibration des haubans affectant la stabilité-même du viaduc. Les haubans ont été installés selon une technique bien rodée. Après avoir passé un

premier toron dans la gaine de protection extérieure, celle-ci est hissée sur le pylône jusqu'à son emplacement définitif. Le toron est alors fixé dans ses ancrages supérieurs et inférieurs. Une « navette » permet ensuite d'amener un à un tous les autres torons, qui sont ensuite mis sous tension. Pour les haubans les plus longs, la force globale appliquée s'élève à 1 200 t.

L'enrobé : Testé et approuvé

Pour faire face aux dilatations du tablier, un enrobé spécial a été mis au point par les équipes de recherche d'Appia. Assez souple pour s'adapter aux déformations de l'acier sans se fissurer, il doit néanmoins offrir une résistance suffisante pour répondre aux critères autoroutiers (compacité, texture, adhérence, anti-orniérage...).

Deux ans de travail ont été nécessaires pour trouver « la » formule idéale. Plusieurs opérations ont précédé la mise en place de l'enrobé. La projection à haute pression de billes d'acier d'un millimètre de diamètre (grenailage) a permis d'enlever toute trace de rouille sur le tablier. Une couche primaire d'accrochage a été appliquée sur l'acier mis à vif avant la pose d'une feuille bitumineuse de 4 mm d'épaisseur, thermosoudée à 400°C. Celle-ci constitue une protection parfaite contre tout risque de corrosion. La pose de l'enrobé sur le Viaduc de Millau a été réalisée par Appia, du 21 au 24 septembre 2004. Lisse et sans une ride, il recouvre l'acier sur une épaisseur de 6,7 cm. Au total, 10 000 tonnes de béton bitumineux ont été nécessaires pour réaliser la couche de roulement. Deux centrales de production d'enrobé d'une capacité totale de 380 t/h ont été spécialement installées à une dizaine de kilomètres au nord du viaduc. Vingt-cinq semi-remorques ont assuré l'alimentation en continu des deux finisseurs. Aucune rupture d'approvisionnement ne devait stopper l'avancée des engins chargés d'appliquer l'enrobé.

L'auvent : Une « feuille » de béton vrillée

Les bâtiments réservés à l'équipe d'exploitation commerciale et technique du viaduc et la barrière de péage se situent à 4 km au nord de l'ouvrage. La barrière de péage est protégée par un auvent en forme de « feuille » de béton vrillée. Constituée de 53 éléments (les voussoirs), l'auvent est long de 98 mètres. Large de 28 mètres, il repose sur 48

poteaux métalliques. Quant à son poids, il avoisine les 2 500 tonnes. La construction de l'auvent de la barrière a nécessité l'utilisation d'un béton spécifique, à très haute performance, le BSI Ceracem®. Ce dernier contient des fibres métalliques lui conférant d'énormes capacités de résistance mécanique.

Il n'avait encore jamais été utilisé pour un ouvrage de cette importance. Les voussoirs ont été coulés sur un chantier spécial situé à proximité de la culée nord du viaduc. Les voussoirs ont été fabriqués en 6 mois, d'octobre 2003 à avril 2004. Une remorque automotrice, d'une puissance de 500 chevaux et ne comportant pas moins de 120 roues, a été utilisée pour transporter ces éléments sur le chantier de la barrière. Ils étaient alors pris en charge par une grue développant une capacité de 500 tonnes et positionnés à leur emplacement définitif. Fin juin 2004, la barrière de péage possédait son profil définitif.

L'instrumentation : Un viaduc ausculté sous toutes les coutures

Piles, tablier, pylônes et haubans sont équipés d'une multitude de capteurs. Ceux-ci sont conçus pour déceler le moindre mouvement du viaduc et mesurer sa résistance à l'usure. Anémomètres, accéléromètres, inclinomètres, capteurs de température... font partie de la panoplie des instruments de mesure utilisés. Douze extensomètres à fibre optique ont été inclus dans la semelle de la pile P2. Plus haute pile du viaduc, elle se trouve donc soumise aux efforts les plus intenses. Ces capteurs détectent des mouvements de l'ordre du millième de millimètre. D'autres extensomètres – électriques cette fois – sont répartis sur toute la hauteur de P2 et de P7. Ces appareils sont capables de fournir jusqu'à 100 mesures par seconde. Par grand vent, ils permettent de surveiller en permanence les réactions du viaduc face à des conditions extrêmes.

Des accéléromètres placés aux endroits stratégiques du tablier contrôlent les phénomènes oscillatoires qui pourraient affecter la structure métallique. Les déplacements du tablier au niveau des culées sont surveillés au millimètre près. Les haubans, quant à eux, sont également instrumentés et leur vieillissement minutieusement analysé. Les informations recueillies sont transmises par réseau à un ordinateur situé dans le bâtiment d'exploitation contigu à la barrière de péage.

