Mesures et observations des déformations causées par le fluage et le retrait dans les structures en béton

Autor(en): **Oberti, Guido**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen**

Band (Jahr): **5 (1970)**

PDF erstellt am: **22.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-6905

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Mesures et observations des déformations causées par le fluage et le retrait dans les structures en béton

Messungen und Beobachtungen von Schwind- und Kriechverformungen im Massivbau

Measurements and Observations of Deformations due to Creep and Shrinkage in Concrete Structures

GUIDO OBERTI
Prof. Ing.
Torino, Italie

1. AVANT PROPOS

1.1. Sur les phénomènes de retrait et de fluage du béton on a à disposition une étendue littérature relative aux essais de laboratoire, et aussi des remarquables recommandations officielles (par ex. C.E.B.) pour usage de projeteur.

Mais en général se présentent des grandes incertitudes quant aux relations entre tels résultats expérimentaux et le comportement réel des ouvrages qui ont étés jusqu'à présent, objet d'un numéro très inferieur d'expériences *).

L'observation des structures en plein air montre, dans les déformations de retrait et de fluage, des fluctuations régies par les saisons et qu'on n'observe pas en laboratoire, dans des conditions d'ambience (température, humidité) constante ou bien réglées par l'expérimenteur.

En particulier les déformations du retrait sont fortement liées à l' humidification. Les incertitudes plus graves apparaissent dans le cas des ouvrages de grandes dimensions (barrages) qui peuvent être le siège de contraintes considérables dues à un retrait contrarié. Les résultats de laboratoire semblent, dans ce cas, difficilement transponsables.

Mis à part les fluctuations de température et d'humidité saisonnières, importantes différences peuvent apparaître entre les observations de laboratoire et les mesures en chantier,

*) En effet, en Italie, on a réalisé des études remarquables entre lesquelles une expérimentation conduite par M.G. Corona (1) sur trois arcs en béton faiblement armé soumis à différentes conditions de sollicitation (retrait, charge permanente, rapprochement des appuis).

surtout sur structures minces, dues aux influences d'une dessiccation plus rapide par le vent et d'une humidification directe temporaire par la pluie.

1.2. L'observation directe sur l'ouvrage des phénomènes du retrait est aussi conditionnée par les moyens employées en chantier, pour les reduire ou pour les retarder. Il est notoire que après la mise en oeuvre il faut maintenir le béton humide, au moins pour quelques temps. Tout traitement ultérieur de maintien à l'humidité, même pendant des semaines, ne reduit pas le coefficient final du retrait, mais par contre, il réduit notablement le coefficient de fluage. D'autre part les caractéristiques mécaniques, en particulier module élastique et résistance à la traction (déterminante pour la fissuration), se développent davantage de telle sorte que l'évaluation des coefficients (de fluage et de retrait) en devient encore plus incertaine.

Comme on l'a déjà vu, les déformations dues au retrait peuvent être plus au moins "gênées" et alors on devrait, dans l'ouvrage, observer plus-tôt, comme nous dirons, les "contraintes residuelles" qui en dérivent.

1.3. L'observation des déformations dues au fluage a surtout intérêt dans les grands ouvrages où le poids propre joue un rôle important sur le comportement de la structure. C'est le cas du barrage-poids et en particulier des barrages poid-voûte où, après le clavage des joints, se détermine à cause du fluage une rédistribution des contraintes dues au poids propre qui se transfèrent partiellement des consoles aux arcs (plongéants).

Et encore le fluage produit dans les ponts en béton armé de grande portée (2) un développement considérable des déformations, surtout des flèches, et en général une rédistribution des contraintes entre béton et acier à cause de l'augmentation du rapport n entre le module élastique de l'acier et le module (élasto-visqueux) du béton.

Nombreuses recherches, plutôt théoriques qu'expérimentales (3), ont étées effectuées sur la rédistribution des contraintes dans les structures hyperstatiques en béton armé (voûtes, poutres sur appuis continus etc.) à cause du fluage. Admis que les déformations dues au fluage soient proportiennelles aux contraintes, il n'y aura pas de variation dans les grandeurs hyperstatiques si n'entrent pas en jeu l'élasticité des fondations ou l'effet de fluages différés dans le temps. Cas, ce dernier, typique dans la construction des ponts préfabriqués "en encorbellement" (4).

Pour des raisons bien connues, l'observation des déformations à longue échéance présente, comme nous dirons après, un

intérêt tout particulier dans les structures en précontrainte *).

2. LES MESURES SUR LES DIFFERENTS TYPES DE CONSTRUCTIONS: EN BETON, BETON ARME ET EN BETON PRECONTRAINT.

2.1. La connaissance actuelle du comportement réel des ouvrages est encore, en général, excéption faite pour les grands barrages, assez imparfaite, en particulier en ce qui concerne les observations à longue durée, les seules liées aux phénomènes objet de ce rapport.

Il existe diverses méthodes, et pour chacune de celles-ci différents types d'appareils permettant d'effectuer les différentes mesures intéressant l'observation prolongée des ouvrages. Suivant l'importance de la structure en examen, les moyens à disposition et le but de la recherche, peuvent être effectuées mesures de déplacement, de rotations, de déformations locales.

L'observation des déplacements d'une ouvrage est le moyen le plus simple et parfois suffisant pour se rendre compte des variations de son comportement d'ensemble dans le temps.

Laissant à côté les méthodes topographiques de triangulation (bien connus et largement employés pour le contrôle des barrages) on a d'habitude recours à méthodes de nivellement surtout pour la mesure des composantes verticales des déplacements, et de collimation pour la mesure des composantes horizontales.

Pour ces mesures de déplacements on doit procéder aux lectures dans des conditions de satisfaisante stabilité atmosphérique et on doit toujours contrôler la température ambiante.

Les mesures de rotation ou d'inclinaison donnent la variation d'inclinaison de quelques sections planes de la structure particulièrement choisies, et sont exécutées à moyen des clinomètres, constitués essentiellement par un niveau à bulle d'air d'haute sensibilité.

2.2. Les déformations locales sont mesurées avec:

a) des téléextensomètres électriques (généralement plongés dans le béton), à variation de résistance, à variation d'inductance, à corde vibrante, etc.
b) des extensomètres amovibles (déformètres) qui consentent de relever la variation de longueur d'une base déterminé

*) Dreux (5) a pris des mesures sur une dalle, en laboratoire, pendant 3 ans et demi et a constaté que le fluage et le retrait du béton se manifestent simultanément tout le temps. Au bout de 3 ans il constata une déformation deux ou trois fois plus grande qu'au début.

par deux points fixés dans la structure, à une distance de l'ordre de quelques dizaine de cm.

Pour les observations de longue durée ils sont les instruments plus économiques et plus sûrs, avec le seul désavantage qu'ils doivent être employés sur des points accessibles. Pour corriger les effets thérmiques et les perturbations éventuelles que l'apparail a pu subir, on emploi souvent un "repère" en invar.

Les extensomètres et les déformètres sont souvent installés en groupes (rosettes) autour du point d'observation, pour pouvoir examiner la distribution des déformations: de 3 à 4 si on mesure en surface, de 7 à 9 si on mesure dans l'intérieur (comme on fait dans les barrages). Pour corriger les effets dus aux variations thérmiques on doit connaître la température locale; en plus on applique souvent un extensomètre "isolé" qui mesure les seules déformations libre du béton (y compris le retrait), dont la connaissance est nécéssaire pour le dépouillement des données.

La longueur "base" de mesure de l'extensomètre est en générale fixée en 4-5 fois les dimensions maximales de l'agrégat. Dans les structures en béton armé peut être convenable de placer l'extensomètre directement sur les armatures en acier; dans ce cas on peut réduire la longueur "base" et on a l'avantage d'évaluer les contraintes moyennant l'emploi d'un module d'élasticité fixe et bien connu.

2.3. Pour les recherches objet de ce rapport il est intéressant enfin de connaître les "contraintes résiduelles" c'est à dire les contraintes locales agissantes dans un point de l'ouvrage, depuis le début de la construction: contraintes dues au poids propre, à la précontrainte, au retrait et aux effets thérmiques empêches etc. La méthode à suivre est celle de la relaxation de ces contraintes, en isolant un bloc du béton tout autour du point considéré et mesurant dans le même temps, avec l'emploi d'extensomètres (ou mieux de déformètres), la déformation qui se dégage *).

3. QUELQUES DONNES SUR LES MESURES ET LES RESULTATS DES OBSERVATIONS D'OUVRAGE (EN PRECONTRAINT) EN ITALIE

3.1. Les cas exposés ci-dessous en résumé se sont présentés dans quelques-uns des ouvrages en béton précontraint que nous avons dû étudier expérimentalement dans ces dernières années en Italie. Nous en avons choisi trois, assez différents, estimé de particulier intérêt pour le sujet de notre rapport et dont nous songeons de donner des détails pendant la discussion qui aura lieu au Colloque le prochain Septembre 1970.

*) Nous employons à présent une fraise circulaire à diamant avec laquelle on pratique une entaille de quelques cm. tout autour d'une rosette de déformètres déjà approntés sur la surface libre du béton dans le point intéréssé.

3.2. Chaussée du Tunnel du Mont Blanc (côté Italie) (6). La chaussée, qui fait corps avec les conduits de ventilation, a été réalisée avec la construction en béton préfabriqué de 320 caissons (Voussoirs). Chaque voussoir a la section indiquée en fig. 1 et la longueur fixe de 10 mètres.

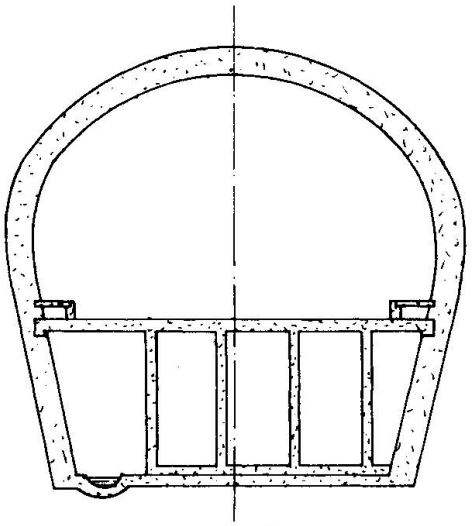

fig.1

Dans l'automne 1964 les caissons ont étés mis en place, moyennant un spécial wagonnet de transport sur un lit de sable pour les premières 800 m. à partir du centre du tunnel et, après, sur des appuis en néoprène jusqu'à la sortie.

Chaque 180 m. (18 voussoirs) on a laissé un "joint actif", équipé avec des vérins plats travaillant jusqu'à 150 Kg/cm^2, avec lesquels on donnait et reglait la poussée de précontrainte, prévue jusqu'à 90 Kg/cm^2. Comme la course maximale des vérins était à peu près de 25 mm. on a installé sucéssivement, dans chaque joint actif, 4 couches de vérins plats pour vaincre le raccourcissement progrssif de l'ouvrage dû à l'action combinée du retrait et du fluage. Des installations pour mesurer les déformations prolongées dans le temps, la température, l'humidité, et pour contrôler la précontrainte,ont étées approntées vers la fin du 1964 *). Après trois mois de durcissement, en condition d'humidité d'ambiance très élevée (90 %) on effectua la première précontrainte entre Janvier et Mars 1965. Les autres ont suivi, avec un décalage variable, même après l'ouverture de tunnel, jusqu'à septembre 1969.

Le dépouillement des nombreux résultats obtenus est actuellement en cours. En général on peut déjà dire que la déformation horizontale moyenne est arrivé au commencement du 1969, c'est à dire après 4 ans de l'achèvement de l'ouvrage, a une valeur 55.10^{-5}.

Puisque la longueur du tunnel côté Italie est de 5800 m. le raccourcissement total du tablier en resulte de 3,2 m.

On a remarqué qu'il y avait des oscillations régulières de l'ordre de $2 \div 3.10^{-5}$ entre les déformations mesurées en correspondance d'une section près d'un joint actif, et celles mesurées à moitié distance entre deux joints actifs, dues aux réactions de friction des appuis.

De temps en temps on faisait des contrôles de la précontrainte, qui était très influencée par les variations thérmiques de l'air, assez élevées près de la sortie et très réduites au centre du tunnel. Les variations thérmiques saisonnières ont

*) Les mesures ont étées exploitées par l'Institut de Téchnique des Structures du Polytéchnique de Turin, par la ISMES et par le Bureau Téchnique de l'Entreprise.

étées plus réduites de celles prévues. La température moyenne annuelle a marqué une tendance à la diminution. Brusques variations thérmiques et de séchage on influencé les déformations locales surtout des parois verticales.

Mesures de contraintes residuelles ont étées executées le février 1968, en condition de séchage élevé en correspondance de deux sections (à 1450 m. et à 2900 m. de l'entrée) où on avaient en cours l'observation des déformations avec des déformomètres en "rosette".

On a tiré les résultats suivants:

	Progr. 1450 m.	Progr. 2900 m.
Déformation totale (depuis le commencement)	-59.10^{-5}	-37.10^{-5}
Déformation permanente (fluage et retrait)	-49.10^{-5}	-26.10^{-5}
Déformation élastique	-10.10^{-5}	-11.10^{-5}
Précontrainte (E_b mesuré)	41,6 Kg/cm^2	38,3 Kg/cm^2

3.3. Pont en encorbellement sur le Bradano. C'est un pont en béton précontraint à plusieurs travées égales (fig. 2). Construit il y a une dizaine d'années, il est caracterisé par la présence d'une articulation à pendule placée au milieu des travées. Grâce à cette articulation sans poussée l'ouvrage est isostatique sous charge permanente, ce qui présente de nombreux avantages; mais l'expérience à mis en évidence les inconvenients, dont les principaux sont liés aux déformations différées. Dans ce type de pont rien ne s'oppose au déplacement vertical de l'extrémité des consoles dû aux déformations différées du matériau.

Dans le cas en jeu, après quelques ans de l'inauguration, la flèche avait atteint moyennement 10 cm. et pour l'arrêter on a dû enlever le remblais de couverture de la chaussée pour alléger les consoles, ce qui produit des dos d'ânes tout le long du pont en correspondance des piles.

Les observations des déformations de l'ouvrage, commencées à pont à peine achevé, ont étées rendues réellement systématiques

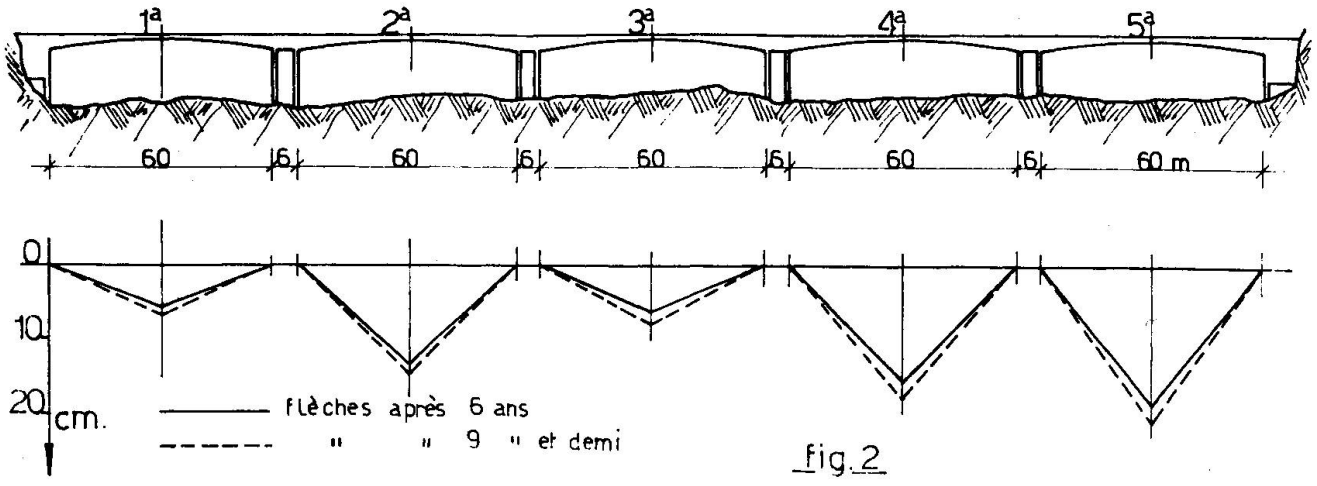

fig. 2

dans les dernièrs 4 ans, moyennant des mesures périodiques de nivellement et des déformations en plusieurs sections avec l'emploi d'une deflectomètre. Dans les derniers deux ans, c'est à dire à 7+9 ans du terme de l'ouvrage, l'abaissement continue avec une vitesse de 3 + 6 mm. par an, presque constante.

On a fait aussi des mesures directes de la traction moyenne dans les câbles et des contraintes residuelles dans le béton, avec notre méthode de carottage, qui on conduit aux conclusions suivants:

- si on admet valable le coefficient de relaxation théorique de l'acier (7 %) on obtient des données expérimentales un coefficient combinée, retrait et fluage, de l'ordre de 2.5+3 fois les valeurs admis suivant les instructions adoptées en projet ($\varepsilon_r = 25.10^{-5}$; $\varepsilon_v = 2.\varepsilon_e$):
- si on admet aussi valable le coefficient de retrait réglementaire on obtient que la déformation de fluage du béton est arrivé à la valeur $\varepsilon_y = 5.\varepsilon_e$.

Ces résultats sont probablement liés aux conditions exceptionellement défavorable, climatique pendant le durcissement, humidité relative très basse et température moyenne élevée. Et aussi aux matériaux employés pour le bétonnage.

3.4. Poutres préfabriquées, en béton précontraint, du bâtiment, F. Tosi (Legnano). Les poutres, destinées à un bâtiment à plusieurs étages pour les bureaux de la S.A. F. Tosi, ont une section a T élargi et de la porté de 14,3 m.

Pendant les essais de surcharge, en place, on a observé des flèches presque entièrement élastiques mais assez supérieures à celles prévues par le projeteur.

On décida alors de faire des essais sur deux poutres jumelles (jusqu'à rupture) en laboratoire avec le but d'arriver indirectement à travers l' évaluation des états de contrainte dans les câbles et dans le béton, à établir les coefficients de retrait et de fluage. Pour cela on a évalué expérimentalement:

- le moment de fissuration, ce qui a permis le calcul de la valeur limite supérieure de la précontrainte réellement existente dans les poutres de l'ouvrage;
- les contraintes résiduelles existantes, dans le béton, aux intrados de deux sections convénablement choisies des poutres, soumises au seul poids propre (après les essais précédents), ce qui a permis d'évaluer la valeur limite inférieure de la précontrainte existante.

On a déduit une chute de précontrainte, par égard à celle prévue, comprise entre le 12 % et le 20 %, assez grave et qui justifie le comportement trouvé sur l'ouvrage, c'est à dire la déformabilité élévée sous le surcharge.

Enfin l'examen des résultats obtenus conduit à admettre que l'ordre de grandeur des coefficients de retrait et de fluage à été dans la réalité presque le double des valeurs prévues dans les calculs ($\varepsilon_r = 25.10^{-5}$; $\varepsilon_v = 2.5\ \varepsilon_e$).

4. CONCLUSIONS

L'état actuel de la connaissance directe du comportement dans le temps des ouvrages en béton, excéption faite pour les grands barrages, est encore assez réduit même si dans les dernières années quelques Institutions de recherches ont commencé à entreprendre des observations systematiques ayant surtout le but de contrôler l'accord entre les coefficients admis dans les Instructions Officielles pour le calcul des structures en béton précontraint, et ceux de la réalité (7) (8).

Si les laboratoires ont un rôle essentiel à jouer pour accroître nos connaissances dans ce domaine, surtout si on arrivera à les équiper pour les essais à longue durée des bétons à contrainte triaxiale et des grands modèles, on doit comprendre qui est essentiel de pouvoir étudier l'évolution des ouvrages réels en la comparant aux prévisions de projet. Pour cela il emporte au plus haut point que soient aussi connues avec exactitude toutes les circonstances du chantier et que soient notées avec précision toutes les mesures faites depuis le début de la construction, autrement le dépouillement des observations effectuées peut devenir inextricable.

Les auteurs des projets, les entrepreneurs et les autorités ne s'intéressent pas trop à cette connaissance approfondie du comportement d'un ouvrage dont, tout au plus, désirent connaître les conditions de sécurité globale. L'observation systématique depuis l'achèvement de la construction, peut seulement être entreprise par des Instituts de recherche spécialisés et bien équipés.

Et enfin on devrait tâcher à "organiser" la recherche entre les différents laboratoires de façon que les rechercheurs puissent collaborer à une meilleure compréhension du comportement à longue échéance des structures en béton.

B I B L I O G R A P H I E

(1) G. Corona "ricerche sperimentali sull'influenza del tempo sul regime statico di archi in calcestruzzo" - La Ricerca Scientifica- no 6- Giugno 1967.

(2) P. Jensen "Le pont de Glavesville à Sidney" - Annales de l'I.T.B.T.P. avril 1966.

(3) F. Levi "Effet du fluage dans des constructions hyperstatiques en béton soumises à différents régimes de contrainte". RILEM Bull. no 5 décembre 1959.

(4) G. Grattesat "Une nouvelle famille de ponts en béton précontraint" - Introduction-Travaux, Janvier, 1966.

(5) Dreux, M.S. "Le fluage-retrait de la dalle..." Ann. de l'I.T.B.T.P. - Nov. 1964.

(6) C. Castiglia, M.A. Chiorino
"L'impalcato stradale del traforo del Monte Bianco" - La Rivista della Strada no 309 - Aprile 1967.
(7) R.F. Stevens, R.H. Corson
"Strains in some prestressed concrete structures" Inst. of Civil Engineers march 1966 Paper 2.
(8) S.C. Bate "Repeated loading tests on a 10 year-old prestressed concrete beam" - Civil Engineering juin 1964.

RESUME

Après quelques considérations sur le comportement des structures réelles soumises au retrait et au fluage, on fait mention, en sommaire, des méthodes actuelles de mesure applicables aux ouvrages en béton, béton armé et précontraint. En suite on résume les résultats obtenus dans l'observation des phénomènes dus au retrait et au fluage du béton, sur quelques ouvrages en précontraint executés en Italie, et enfin on tire les conclusions sur la possibilité de l'examen du comportement des constructions à moyen des mesures prolongées dans le temps.

ZUSAMMENFASSUNG

Nach einigen Ueberlegungen über das von Schwinden und Kriechen abhängige Verhalten der wirklichen Tragwerke, werden die derzeitigen Messungsmethoden, die im Massivbau gewöhnlich gebraucht werden, zusammenfassend beschrieben. Danach werden die Erfahrungen zusammengefasst, die an einigen italienischen Bauwerken gemacht worden sind, und schliesslich werden einige Folgerungen über die Möglichkeit, das statische Verhalten der Tragwerke durch Langzeitmessungen zu untersuchen, gezogen.

SUMMARY

After some considerations about the behaviour of structures in open air, submitted to shrinkage and creep, it is given a short description of the measuring equipments actually applied for long-term observations in concrete structures. Nextly there are resumed the main results obtained in investigations of some types of prestressed concrete structures recently made in Italy, and at the end some conclusions are exposed on the possibility about further investigations on long term measurements on actual structures.

Leere Seite
Blank page
Page vide