



Ce projet est financé par
l'Union Européenne



Appui à l'administration tunisienne pour le développement de l'éco-construction

DES SOLUTIONS DE CONSTRUCTIONS INDUSTRIALISÉES POUR LES BÂTIMENTS DURABLES

José Luís Miranda Dias (1)

Département de Bâtiments/Division d'Économie, Gestion et
Technologie de Construction

Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)

e-mail:

1 - mirandadias@lnec.pt



Bundesministerium
für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

وزارة المجهيز
Ministère de l'équipement
Ministry of equipment



Introduction

Un des primordiales problèmes d'aujourd'hui, dans le domaine des bâtiments, se résume à comptabiliser:

- **La nécessité de industrialisation** de la construction pour obtenir une exécution des **bâtiments en grand échelle**, de façon **vite et économique**, a fin de **satisfaire les besoins de la société**;
- Et la garantie de **protection d'environnement** qui est **négativement affectée** pour cette construction.

Il faut, donc, **réfléchir sur le développent actuel**, et chercher la stratégie approprié pour freiner la **dégradation de l'environnement** associé a ce développement, sans compromettre le désirable progrès économique et social.

Introduction

Une des questions de développement actuel repose sur le permanent conflit entre le **la croissance économique** et leur conséquences liés à la **dégradation de l'environnement**.

- Dès que la **Révolution Industrielle** du XIXe siècle a introduit des critères de croissance essentiellement économiques, il faut savoir s'il est vraiment possible corriger le modèle de développement industriel pour le rendre **viable ou soutenable sur le plan environnemental**, en particulier en ce qui concerne le domaine de solutions de constructions industrialisées pour les **bâtiments durables**.



Introduction

Pour entendre le changement introduit pour la **Révolution industrielle du XIXe siècle** sur le domaine des **bâtiments**, il faut d'abord analyser la histoire de sa construction avant et après cet époque. Initialement, la construction des bâtiments était surtout artisanal:

- La **connaissance** a été transmise entre les **générations d'artisans**, qui ont maintenu la qualité des bâtiments;

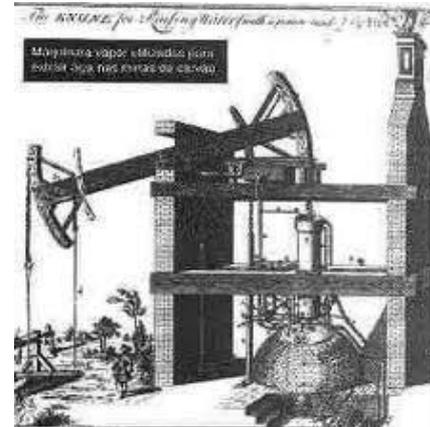
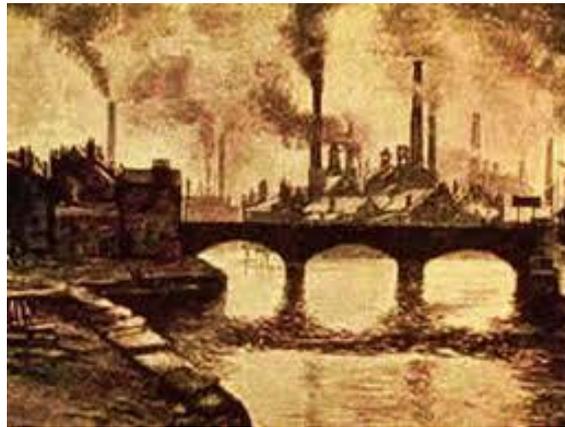


- L'**évolution technologique de la construction** a été engendré à un rythme lent en général limité à l'**amélioration des matériaux et des techniques de production de l'application de ces matériaux dans le ouvrage**



Introduction

Avec la **révolution industrielle**, on a regardé une **évolution plus rapide** des techniques et matériaux de construction **et l'industrialisation croissante** du processus de construction



Introduction

Il faut d'abord distinguer la **évolution des solutions constructives** jusqu'au la phase de industrialisation, c'est a dire pendant le période dans lequel ont été **moins négatif les aspects environnementaux** liés à la l'extraction des matières premières et au transport du produit, à son utilisation, et à sa fin de vie.

En fait, jusqu'au XVIIIe siècle, les bâtiments en Portugal ont, en général, des solutions constructives, bien écologiques, basés sur :

- **Pisé (système constructif en terre crue)**;



- **Murs de maçonnerie résistantes à pierre ordinaire ou jumelée, adobe ou blocs en céramique.**



Introduction

Cette évolution des matériaux et des techniques utilisés dans la construction des bâtiments a été le résultat:

- Du **progrès technologique** qui a changé le type de production de matériaux de construction et procédés de construction;



- De la **pression sociale** en raison de la **pénurie existant de logements**, ce qui a forcé à une plus grande vitesse et économie de la construction.



Introduction

La solution constructive de la maçonnerie résistante, basée sur des blocs céramique, a été augmenté, en particulier depuis le XVIIIe siècle, avec la révolution industrielle, qui a fourni les conditions pour:

- Une production, à plus grande l'échelle, des blocs céramiques;



- Et a rendez très commun la construction basée sur ce type de maçonnerie résistant au début du XXe siècle



Introduction

Dans les dernières décennies du XXe siècle et début du 21e siècle, l'évolution technologique de la construction a été associée à un **changement significatif** dans le domaine des **matériaux** et des **équipements à l'appui** de l'industrie de la construction.



Il en est résulté dans une large mesure des **progrès de la science et de technologie**

Contexte général du développement de la construction de bâtiments industrialisés durables

La typologie des bâtiments au Portugal, dans les deux premières décennies du XXe siècle, reposait essentiellement sur:

- Murs résistants, généralement des pierres irrégulières ou de briques de maçonnerie



- Or la utilisation du **béton** comme matériau de construction, qui a permis **production mécanisée et la construction à ample échelle.**



Contexte général du développement de la construction de bâtiments industrialisés durables

Cet entrée du béton armé dans la mise en œuvre des structures de bâtiments en Portugal, a résulté en:

- **Construction massive** de bâtiments de taille variable et surtout avec une **structure réticulée en béton armé coulé sur place.**



- Construction des bâtiments à l'aide de **d'éléments préfabriqués en béton armé** dans sa structure, d'un pourcentage moindre, bien que significative.



Contexte général du développement de la construction de bâtiments industrialisés durables

L'**acier** a émergé au début du siècle dernier comme un matériau constructif aussi capable de s'imposer comme une solution de **construction de bâtiments**, notamment en:

- **bâtiments de grande hauteur;**



- **Installations industrielles.**

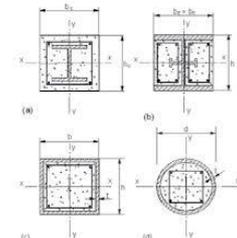


Les éléments structuraux ont été constituées par:

- **profilés en acier**



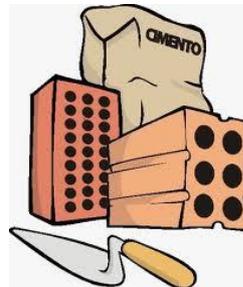
- **Acier en liaison avec le béton**



Contexte général du développement de la construction de bâtiments industrialisés durables

Le positive changement progressif qui a été introduit dans les systèmes traditionnels tient des causes compréhensibles:

- **L'augmentation progressive de la qualité des matériaux de construction;**



- **L'augmentation de l'efficacité de la technique constructive, avec des gains en productivité et d'obtention d'un produit final de qualité et de durabilité supérieure.**



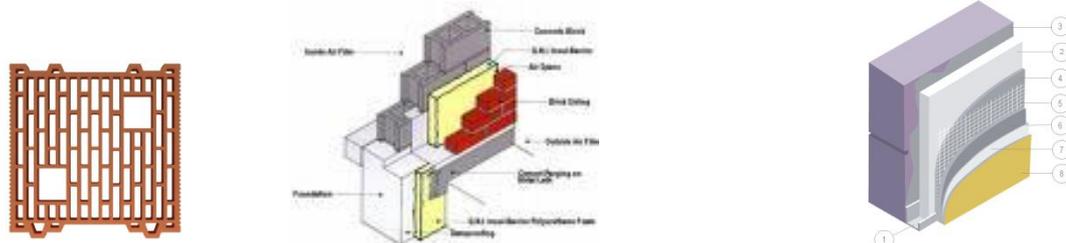
Contexte général du développement de la construction de bâtiments industrialisés durables

Au Portugal, dans le domaine de la construction de **façades** de bâtiments, **la solution de murs de maçonnerie** a restée, le long de les siècles, attrayant pour la exécution de la enveloppe vertical des bâtiments:

- **En particulier avec la fonction de remplissage;**



Cependant, ces solutions de maçonnerie ont été modifiés, au fil du temps, afin de bénéficier son performance.



Contexte général du développement de la construction de bâtiments industrialisés durables

Dans les petites bâtiments résidentiels les solutions constructives plus utilisées en Portugal dans sa structure essentiellement ont varié peu au cours des deux dernières décennies.



Toutefois, il y a un majeur changement et l'innovation des **matériaux et revêtements**, ainsi que des éléments de construction, mais ils sont, dans sa majorité, encore **peu concernés avec les aspects environnementaux**.



Contexte général du développement de la construction de bâtiments industrialisés durables

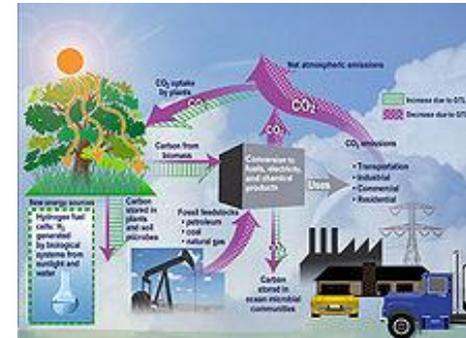
C'est ainsi, suivant la description exposé, qui constituent des thèmes prioritaires à satisfaire pour inverser la présente situation, vers **les bâtiments durables**:

- La valorisation des énergies utilisant les **ressources naturelles** permettant de se rapprocher des bâtiments qui consomment peu d'énergie;
- L'emploi de matériaux à **faible énergie grise**.

Contexte général du développement de la construction de bâtiments industrialisés durables

Les bâtiments durable (**écoconstruction**) doivent respecter au mieux l'écologie à chaque étape de la construction, et de son utilisation relative a:

- Chauffage;
- consommation d'énergie;
- rejet des divers flux (eau, déchets) .



Les bâtiments durable cherche à s'intégrer le plus respectueusement possible dans un milieu:

- en utilisant au mieux des ressources peu transformées, locales, saines et en favorisant les liens sociaux.

Mais, à première vue, ces **objectives** paraître **peu compatibles** avec la **désirable croissance économique** et, en particulier, avec la **industrialisation de la construction**.

Contexte général du développement de la construction de bâtiments industrialisés durables

Certainement, autres contraintes du développement de aujourd'hui aussi inquiétantes, en part attachés avec la question de **la croissance économique après la révolution industrielle** et leur conséquences liés à la **dégradation de l'environnement**, sont reliés au:

- changement climatique dû aux émissions de gaz à effet de serre et de la pollution due aux activités humaines;
- raréfaction des ressources naturelles;
- écarts entre pays développés et pays en développement;
- déforestation et perte drastique de biodiversité;
- croissance de la population mondiale;
- catastrophes naturelles et industrielles.

Pour assurer un développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs, le **développement durable** est une réponse des États, Acteurs Économiques, et Société Civil.

Contexte général du développement de la construction de bâtiments industrialisés durables

Le **développement durable** devrait être basé sur un modèle de développement qui permet de concilier **progrès technique, productivité, et respect de l'environnement**. On demande de :

- promouvoir des **modes de production et de consommation plus durables**;
- **changer le type de lien** entre la croissance économique et la dégradation de l'environnement;
- tenir en compte ce que les écosystèmes peuvent supporter, notamment en termes **d'extraction de ressources naturelles**;

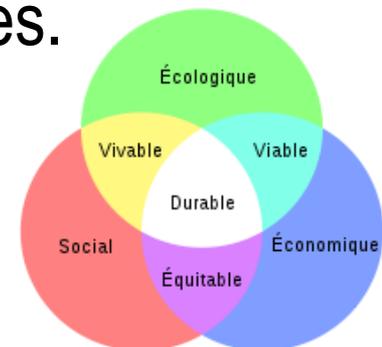


Contexte général du développement de la construction de bâtiments industrialisés durables

Dans le domaine des bâtiments, la réponse du **développement durable** pourrait venir de la adoption de la **technologie de industrialisation des constructions des bâtiments appropriée**, ça qui est conçue avec une considération particulière pour les **aspects environnementaux, culturels, sociaux et économiques** de la communauté à laquelle elle est destinée:

- **la technologie appropriée peut demander typiquement moins de ressources, et être plus aisée à maintenir un coût global plus faible et un plus faible impact sur l'environnement.**

En résumé, la **technologie appropriée** pourrait couvrir, en particulier, les solutions de construction industrialisés.



Caractéristiques de construction de bâtiments industrialisés

La **construction industrialisé des bâtiments** est habituellement associée avec les produits de construction et les systèmes avec une forte **composante innovante**, et présente les caractéristiques spécifiques suivantes:

- **accroître la productivité et la qualité du travail;**
- **réduction significative des délais et le coût total de construction.**
- **Ceci s'applique généralement à des éléments répétitifs et/ou complexes.**

La préfabrication a pris son essor en même temps que l'industrialisation par la prise de conscience du coût de la main d'œuvre et du **potentiel de gain économique** se trouvant dans **l'organisation des chantiers**, mais sans grande concerne de leur **impact sur l'environnement**.



Caractéristiques de construction de bâtiments industrialisés

Les **aspects différenciant** les solutions de construction industrialisés face à des solutions de construction traditionnelle pour les bâtiments sont les suivants :

- **fabrique à l'écart du site de construction de l'ouvrage des éléments d'un ouvrage qui sont traditionnellement construits sur place, puis à les assembler sur le site de l'ouvrage .**



- **tranche de la structure et des principaux éléments dans des éléments plus petits, qui permettent de faciliter notamment le transport;**



- **possibilité de connexion efficace entre les différents éléments, qui garantit des conditions de sécurité identiques ou mieux par rapport à l'offre de solutions traditionnelles.**



Caractéristiques de construction de bâtiments industrialisés

Le choix de l'emploi de la préfabrication est guidé par une comparaison essentiellement économique avec la construction sur place. Une analyse comparative doit être faite pour engager ce choix en intégrant au moins les éléments suivant :

Coût :

- Amortissement de l'outil de production ;
- Coût de l'acheminement des matières premières ;
- Rendement de la main d'œuvre de fabrication et d'assemblage ;
- Coût des éléments ou pièces d'assemblage ;
- Coût du transport des éléments préfabriqués;

Délais

- Gain lié à la possibilité de préparer les éléments en amont et de les assembler par la suite ;
- Temps d'assemblage des éléments préfabriqués ;

Caractéristiques de construction de bâtiments industrialisés

Qualité :

- Précision dans la construction des éléments préfabriqués (qualité géométrique) ;
- Pérennité de l'élément préfabriqué (qualité de fabrication) ;
- Qualité de l'élément d'assemblage.

Sécurité :

- Réduction du temps d'exposition des ouvriers aux conditions dangereuses.

Caractéristiques de construction de bâtiments industrialisés

Parmi les solutions de construction industrialisés on se saillant la structure réticulée préfabriquée en béton armé.

- Cette structure est complétée par des **panneaux de remplissage**, qui sont aussi généralement préfabriqués;



- Ce sont généralement des applications pour les **bâtiments industriels** (entrepôts, usines, pavillons, etc..).



Caractéristiques de construction de bâtiments industrialisés

Également en vedette sont les solutions basé sur :

- **structure réticulée en bois ou métallique rempli de panneaux légères;**



- **ou des structures à parois de béton faites avec des systèmes de coffrage perdu non-résistantes.**

Ces types de solutions ont été appliquées principalement dans la construction de logements, de bâtiments scolaires ou d'administration.

Description générale des solutions principaux pour les bâtiments de construction industrialisés

Il y a plusieurs solutions de construction industrialisés pour la mise en œuvre des éléments constructifs de l'enveloppe verticale et horizontale des bâtiments (façades et toitures), ainsi que pour la séparation connexe entre les espaces intérieurs (planchers et murs intérieurs). Ces solutions peuvent être distribués dans quatre types de base, différenciés les uns des autres par le type de structure:

● **solution d'éléments linéaires** (poutres et piliers), qui correspond aux bâtiments basés sur une structure réticulée;



● **solution de structure de mur** ;



● **solution mixte** de structure composée d'éléments linéaires et murs ;

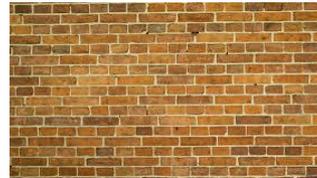
● **Solution modulaire** préfabriqué (cellules tridimensionnelles).



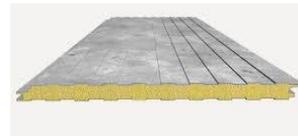
Description générale des principaux solutions pour les bâtiments de construction industrialisés

Les situations les plus courantes qui enclose le enveloppe vertical, en vue de la protection du bâtiment contre les différentes actions a qui devront se soumettre, se référé à des éléments de façade basés sur:

- **panneaux de maçonnerie (simple ou double paroi)** – blocs pour la maçonnerie qui sont considérée comme solution présentent certain caractéristiques de industrialisation au niveau de son fabrication) ;



- **panneaux de béton lourd préfabriqués ou systèmes de revêtement (panneaux de façade légère - exemple panneaux «sandwich»);**



- **la combinaison des panneaux simple ou double de maçonnerie et de panneaux préfabriqués.**

Description générale des principales solutions pour les bâtiments de construction industrialisés

Éléments de maçonnerie

Les éléments les plus couramment utilisés pour la réalisation d'ouvrages de maçonnerie sont les blocs en béton, les briques de terre cuite, les blocs en béton cellulaire autoclavé et la pierre naturelle.

Éléments de maçonnerie en béton cellulaire autoclavé.

Material

Les techniques de fabrication du béton cellulaire sont garanties par des références normatives définies dans la norme européenne EN 771-4 (Éléments de maçonnerie en béton cellulaire autoclavé). Plusieurs paramètres permettent de connaître le comportement mécanique des produits, la résistance à la compression, à la traction par flexion, et au cisaillement :

- la résistance en traction par flexion est 6 fois plus faible que la résistance en compression.
- la résistance au cisaillement varie selon la réalisation du joint de collage.



Description générale des principaux solutions pour les bâtiments de construction industrialisés

Blocs de béton cellulaire autoclavé.

- Les blocs de béton cellulaire étant stabilisés en autoclave, leur **résistance à la compression est très importante et augmente avec la densité.**
- La densité des blocs appelée **Masse volumique nominale** M_{vn} est comprise entre **350 kg/m³ et 800 kg/m³.**



Murs

- La résistance s'accroît donc avec la largeur de la paroi.
- Les charges admissibles sur le mur dépendent donc essentiellement de l'épaisseur de ce mur.



Pour un mur porteur en béton cellulaire de 30 cm d'épaisseur, cette résistance peut atteindre 18 tonnes au mètre linéaire.

Description générale des principales solutions pour les bâtiments de construction industrialisés

Certaines exemples de dispositions sur les éléments de maçonnerie en béton cellulaire autoclavé pour la **construction durable** (ecoconception)

- Il est permis d'employer les **composants principaux** suivants: sable, chaux, ciment, matériel recyclé à partir de déchets de béton cellulaire, eau, gypse recyclé ou anhydrite recyclé et additifs
- Éléments de maçonnerie pour le béton cellulaire autoclave utilisé comme mur extérieur simple épaisseur, doit être prouvée une valeur calculée de conductivité thermique n'excédant pas la valeur numérique fixée par la norme EN 1745, tableau A 10.
- On devrait obtenir une **insonorisation accrue** grâce aux constructions de mur extérieur qu'il préconise (exigence d'affaiblissement acoustique R_w d'au moins 43 dB).

Description générale des principales solutions pour les bâtiments de construction industrialisés - éléments de la façade

Les éléments de la façade, dans la plupart des cas, ne sont pas partie intégrante de la structure du bâtiment :

- ils ont seulement fonction de résistance aux actions climatiques;



- ils sont fixés à la structure au moyen de liens flexibles qui permettent mieux accommoder les mouvements globaux de la structure du bâtiment, ainsi que les mouvements particuliers de leur façade.

Description générale des principales solutions pour les bâtiments de construction industrialisés

Ainsi, on y va synthétiser les aspects proéminents de ces types de **solutions de construction industrialisés pour les bâtiments**, en Portugal.

Aussi, on cherche à encadrer ces solutions dans les différentes variantes constructives couvertes pour les **Guides pour l'agrément technique européen ETAG's** établis par l'Organisation européenne pour l'agrément technique (EOTA). On doit indiquer que, dans les cas qui ont été approuvés ETAG's, qui couvrent une famille particulière de produits/kits de construction, on peut opter pour un **agrément technique européen (ETA)**.

- **Le agrément technique européen (ETA) pour ces produits/kits, permettre le marquage « CE » respectif.**



Description générale des principales solutions pour les bâtiments de construction industrialisés - Bâtiments basés sur structures réticulées

Dans ce type de bâtiments industrialisés solutions modulaires ce sont distingués les suivantes:

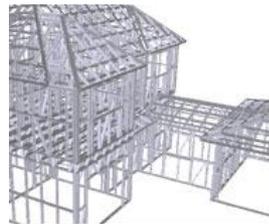
- **Structure réticulée du béton;**



- **Structure réticulée en bois;**



- **Structure réticulée en acier;**



Description générale des principales solutions pour les bâtiments de construction industrialisés- Bâtiments basées sur structure réticulée de béton

Les solutions constructives basées sur une **structure réticulée de béton** pour les bâtiments se composent de l'utilisation des piliers, des poutres et des dalles de béton préfabriquées interliés

- Il s'agit de solutions constructives utilisées dans la construction de bâtiments dans les années 60 et 70 du siècle dernier, notamment dans les bâtiments industriels.
- Pour ce type de solution, le spécification technique applicable est le Guide **ETAG 024** ("Concrete Frame Building Kits", ETAG Guide d'agrément technique européen) de l'EOTA



Description générale des principales solutions pour les bâtiments de construction industrialisés - Bâtiments basés sur une structure réticulée en bois

Les solutions constructives basées sur une **structure réticulée en bois** consistent en l'utilisation de poutres et colonnes en bois préfabriqués et reliés entre eux:

- Au niveau national leur utilisation accroît présentement, surtout en ce qui concerne petits maisons et villas - logement familial.
- Pour ce type de solution, la spécification technique applicable est le **Guide ETAG 007**, (Timber Frame Kits) de l'EOTA



Description générale des principales solutions pour les bâtiments de construction industrialisés - Bâtiments basés sur une structure réticulée métallique

Une essentielle caractéristique des solutions constructives pour bâtiments basés sur une **structure réticulée métallique**, se réfère à l'utilisation d'une modulation de la structure robuste de profilés légers en métal, avec, en général, des tôles d'acier galvanisées et à froid.

- ces solutions préfabriqués sont généralement petites et sont habituellement aux fins de logement ou de services, et dans la dernière décennie ont été un incrément de mise en œuvre en Portugal
- Pour ce type de solution, la spécification technique applicable est le **Guide ETAG 025** (" Metal Frame Building Kits "), préparé par l'EOTA



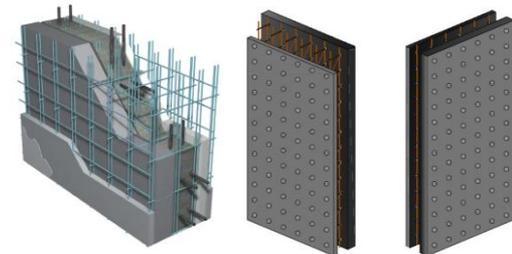
Description générale des principales solutions pour les bâtiments de construction industrialisés - Bâtiments basés sur la structure de mur ou mixte

Il y a plusieurs types des solutions de **structure de mur ou de structure mixte** (structure composée de murs et éléments linéaires) pour les bâtiments, et on décrit deux des plus importants:

- solutions de construction basée sur la **structure de rondins de bois**;



- solutions de construction basées sur des **structures à parois de béton faites avec des systèmes de coffrage perdu non-résistantes.**



Description générale des principales solutions pour les bâtiments de construction industrialisés - Bâtiments basées sur la structure de mur ou mixte

La solution de construction de bâtiments basés sur la **structure de rondins en bois** pour former les parois de le enveloppe.

- **Les rondins en bois sont massifs ou composés de lamelles en bois;**



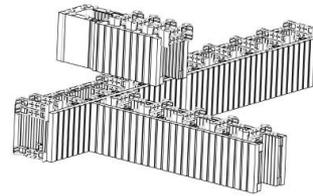
- Cette solution a gagné l'expression en termes de mise en œuvre en Portugal, en particulier dans les petits immeubles de logements de famille, en général intégrés dans l'environnement rustique.
- Pour ce type de solution, le spécification technique applicable est le Guide ETAG 012, («Log Building Kits»), établie par l'EOTA.



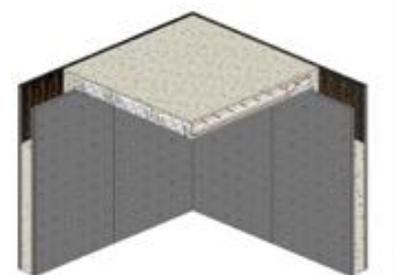
Description générale des principales solutions pour les bâtiments de construction industrialisés - Bâtiments basées sur la structure de mur ou mixte

Les solutions de construction basées sur des **structures à parois de béton faites avec des systèmes de coffrage perdu non-résistantes** sont principalement utilisés pour la construction des **murs extérieurs et les cloisons intérieures** des bâtiments.

• Le coffrage perdu est composé de blocs creux ou de dalles d'isolant thermique, remplis de béton avec fonction résistant, pouvant contenir une armure résistante ou non.



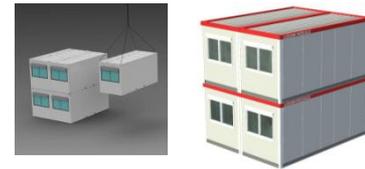
- C'est une solution qui est en phase initiale de mise en œuvre en Portugal.
- Pour ce type de solution, le spécification technique applicable est le **Guide ETAG 09** ("Non load-bearing permanent shuttering kits/systems based on hollow blocks or panels of insulating materials and sometimes concrete"), de l'EOTA.



Description générale des principales solutions pour les bâtiments de construction industrialisés - Bâtiments basés en construction modulaire

Les **bâtiments basés construction modulaire** sont essentiellement composés de modules, préfabriqués, avec montage en usine, et transportables pour le lieu de l'ouvrage.

- Les modules ont généralement une structure métallique ou mixte, modulés sur la base des montants d'acier, associés, dans la zone des façades, à des panneaux préfabriqués (panneaux verticaux de type « sandwich »).



- L'utilisation plus commune, en Portugal, de cette solution constructive est dans les bâtiments administratifs, des locaux commerciaux, bâtiments à l'appui des lieux de travail et logement.



- Pour ce type de solution, la spécification technique applicable est le **Guide ETAG 023 « Prefabricated building units »**, préparé par l'EOTA.

Solutions alternatives écologiques de construction industrialisés pour les bâtiments

Actuellement, le secteur du bâtiment, avec les caractéristiques constructives déjà montrés, présente, en Portugal, et environ dans la ample généralité d'autres pays, les suivantes caractéristiques:

- **consomme actuellement soit presque la moitié de l'énergie finale totale**
- **en ce qui concerne les émissions par les bâtiments de gaz à effet de serre, le CO2 représente le gaz majoritaire, en raison du contenu élevé en carbone des combustibles fossiles consommés pour le chauffage, ainsi que de l'électricité utilisée lors des périodes très froides.**
- **génère une parcelle significative du totale des émissions de carbone CO2 (soit 1/4)**
- **l'énergie est consommée, en majorité, dans les logements.**

En considérant l'influence décisive des **actuelles solutions constructives des bâtiments** sur l'impact environnementale négative, il faut chercher des **solutions alternatives écologiques** de construction pour les bâtiments, et les **solutions de construction industrialisées**, si bien étudiés du point de vue de la construction durable et de la **écoconception**, peuvent donner un contribution pour cette objective.



Solutions alternatives écologiques de construction industrialisés pour les bâtiments

Écoconception est basée sur la reconnaissance du fait que **tout produit ou processus a un impact environnemental**, et les respectives motivations peuvent être :

- **volonté de mieux récupérer et recycler des matériaux ou éléments fonctionnels en fin de vie d'un produit**
- **moins de pollution et moins d'impact du principe pollueur-payeur;**
- **réponse à une demande sociale en faveur d'un développement plus durable, et soutenable volonté de se prémunir contre des plaintes liées à des pollutions ou nuisances induites par un produit non éco-conçu.**

L'analyse du cycle de vie prend en considération les aspects environnementaux liés à la conception du produit depuis l'extraction des matières premières ou l'utilisation de matières recyclées jusqu'au transport du produit, son utilisation et sa fin de vie (recyclage, réutilisation ou valorisation - il s'agit aussi, dans la mesure du possible, d'éviter les déchets ultimes).

Solutions alternatives écologiques de construction industrialisés pour bâtiments

Les ouvrages concernés par les principes de la construction durable , et qui intéresse la construction industrialisée ,peuvent être de différentes tailles:

- la maison individuelle;
- locaux tertiaires;
- bâtiments publics;
- logement collectifs;
- implantations industrielles;
- chantiers de réhabilitation

A l'étape de la construction, certains produits éco-conçu peuvent être en général, plus chers pour la construction industrialisée, par rapport à un produit conventionnel, et tandis que le budget d'investissement initiale est plus élevé, le coût global (quantitative et qualitative), correspondent au le période totale de exploration, peut s'avérer moins élevé, surtout si :

- on intègre des technologies industrialisés avec réduit impact environnemental ;
- ce surcout concerne le bilan énergétique (étude thermique poussée, capteurs solaires, etc), et la différence s'inverse en quelques années (de 5 à 10 ans) par les économies d'énergies, de maintenance et d'entretien générées
- et on peut obtenir un meilleur confort thermique et hygro-thermique, ainsi que de l'impact positif sur la santé des usagers et habitants du fait de l'emploi de composants et matériaux moins toxiques.



Solution global du bâtiment durable

Un exemple de solution global de bâtiment durable, se réfère à la valorisation des **énergies utilisant les ressources naturelles** en bâtiments de construction industrialisés (permettant de se rapprocher a des bâtiments de type *Habitat passif* – ce qui consomment très peu d'énergie), ainsi que l'emploi, en conjonction, de matériaux à faible Énergie grise.

Les solutions alternatives de construction industrialisé écologiques pour les bâtiments et qui se rapprochent des bâtiments de type *Habitat passif*, devront présenter les suivantes caractéristiques:

- **bâtiment dont la consommation énergétique au m² est très basse (presque entièrement compensée par les apports solaires ou par les calories émises par les apports internes - matériel électrique et habitants).**
- **maison qui réduit d'environ 80 % ses dépenses d'énergie de chauffage par rapport à une maison neuve.**

Exemples des solutions alternatives écologiques de construction industrialisés pour bâtiments

La stratégie inspirée dans la conception d'un **habitat passif** et adaptée pour les solutions de construction industrialisés, peut être basé sur les conditions suivantes :

- **Isolation thermique renforcée, fenêtres de grande qualité**
- **Suppression des ponts thermiques**
- **Excellente étanchéité à l'air**
- **Ventilation double flux (avec récupération de chaleur)**
- **Captation optimale, mais passive de l'énergie solaire**
- **Limitation des consommations d'énergie des appareils ménagers**

Solutions écologiques de matériaux pour le bâtiment

La question de la dégradation de l'environnement ont fait accroître les **solutions écologiques de matériaux pour le bâtiment**, éventuellement de construction industrialisés, notamment vers la utilisation des «**biocomposites**», qui sont des matériaux composites utilisant des renforts (**chanvre, lin, sisal, jute, etc.**) et/ou résines d'origine animale ou végétale.

La faible énergie intrinsèque des matériaux «**biocomposites**» offre des avantages potentiels importants pour réduire l'impact environnemental des produits de construction, notamment le béton :

- **Le béton que intégré «biocomposites» peut réduire l'énergie grise dans la construction de éléments de façade et de systèmes de cloisons;**
- **Les propriétés mécaniques spécifiques de fibres naturelles sont compétitifs avec ceux en fibres de verre. Le Lin et autres fibres naturelles ont bonne résistance à la fatigue et bonnes caractéristiques acoustiques par rapport aux fibres de verre et carbone.**

Solutions alternatives écologiques de construction industrialisés pour bâtiments - Recente modèle d'information unique du bâtiment durable

Building Information Modelling ou **Building Information Model (BIM)** ou encore **modèle d'information unique du bâtiment** ou encore **Maquette numérique du Bâtiment (MNB)** est une technologie et des processus associés ensemble pour produire, communiquer et analyser des modèles de construction, qui peut se **appliquer à la construction durable**:

- **Le BIM peut être complété par le PLM (Product Lifecycle Management):**
- **Green Building XML (gbXML)** est une partie du BIM qui vise le design et l'utilisation des bâtiments à basse consommation. Le gbXML est utilisé comme entrée de plusieurs logiciels de simulation, et est exporté par les logiciels CAD les plus utilisés.

Exigences fondamentales applicables aux ouvrages de construction basés sur des solutions alternatives écologiques de construction industrialisés

Selon les produits de Construction règlement (RPC), les ouvrages de construction basés sur des solutions alternatives écologiques de construction industrialisés dans leur ensemble, de même que leurs parties, doivent être **aptes à leur usage** prévu.

- Doit également prendre en compte notamment de la santé et de la sécurité des personnes concernées tout au long du cycle de vie desdits ouvrages.

Exigences fondamentales applicables aux ouvrages de construction

Sous réserve d'un entretien normal, les ouvrages de construction doivent satisfaire aux **sept exigences fondamentales** applicables aux ouvrages de construction pendant une **durée de vie raisonnable** du point de vue **économique**:

- **Résistance mécanique et stabilité**
- **Sécurité en cas d'incendie**
- **Hygiène, santé et environnement**
- **Sécurité d'utilisation et accessibilité**
- **Protection contre le bruit**
- **Économie d'énergie et isolation thermique**
- **Utilisation durable des ressources naturelles**

Exigences fondamentales applicables aux ouvrages de construction

Dans la perspective de la **construction durable** il faut aussi attendre a cibles spécifiques:

Cibles d'écoconstruction

- Relations harmonieuses du bâtiment avec son environnement immédiat
- Choix intégré des produits, systèmes et procédés de construction
- Chantier à faibles nuisances

Cibles d'éco-gestion

- Gestion de l'énergie
- Gestion de l'eau
- Gestion des déchets d'activités
- Gestion de l'entretien et de la maintenance

Cibles de Confort

- Confort hygrothermique
- Confort acoustique
- Confort visuel
- Confort olfactif

Cibles de Santé

- Qualité sanitaire des espaces
- Qualité sanitaire de l'air
- Qualité sanitaire de l'eau

•



Exigences fondamentales applicables aux ouvrages de construction

Dans l'évaluation des caractéristiques de performance des produits de construction d'un bâtiment, en particulier au niveau du projet, il faut prendre en compte les exigences fondamentales applicables aux ouvrages de construction:

- Ces exigences sont formulés en général par les exigences réglementaires et normatives européennes et nationales pertinentes.

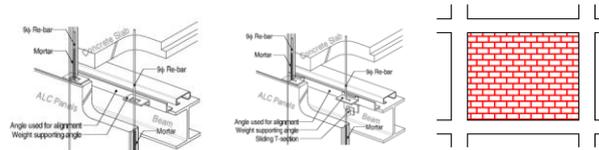
Exigences fondamentales applicables aux ouvrages de construction

Résistance mécanique et stabilité

Les ouvrages de construction doivent être conçus et construits de manière à ce que les charges susceptibles de s'exercer sur eux pendant leur construction et leur utilisation n'entraînent aucune des conséquences suivantes:

a) effondrement de tout ou partie de l'ouvrage, en particulier l'importance de l'action sismique, en particulier en ce qui concerne le comportement et la résistance mécanique des :

- régions entre les éléments structuraux ;zonas de ligação entre elementos estruturais;
- lien entre les éléments structuraux et non structuraux, en particulier les revêtements d'éléments/façade.



- b) déformations d'une ampleur inadmissible;
- c) endommagement d'autres parties de l'ouvrage de construction ou d'installations ou d'équipements à demeure par suite de déformations importantes des éléments porteurs;
- d) dommages résultant d'événements accidentels, qui sont disproportionnés par rapport à leur cause première

- Il est à noter que les structures préfabriquées sont venues à faire l'objet d'une attention particulière en ce qui concerne leur dimensionnement, surtout compte tenu de l'action sismique (Eurocode 8 -NP EN 1998-1: structures 2010-partie dédiée aux préfabriqués en béton armé : chapitre 5, article 11).

Exigences fondamentales applicables aux ouvrages de construction

Sécurité en cas d'incendie

Les ouvrages de construction doivent être conçus et construits de manière à ce que, **en cas d'incendie**:

- **la stabilité** des éléments porteurs de l'ouvrage puisse être présumée pendant une durée déterminée;



- l'apparition et la **propagation du feu et de la fumée** à l'intérieur de l'ouvrage de construction soient limitées;



- **l'extension du feu** à des ouvrages de construction voisins soit limitée;
- les occupants puissent **quitter l'ouvrage de construction** indemnes ou être secourus d'une autre manière;
- **la sécurité des équipes de secours** soit prise en considération.



Exigences fondamentales applicables aux ouvrages de construction

Sécurité en cas d'incendie

La vérification de la sécurité en cas d'incendie passe par l'examen des exigences réglementaires européennes et nationales pertinentes, en particulier en ce qui concerne les caractéristiques des produits relativement a:

- réaction au feu;



- résistance au feu ;



- performance face au feu extérieur.

Exigences fondamentales applicables aux ouvrages de construction

Sécurité en cas d'incendie

En ce qui concerne la résistance au feu, nous devrions vérifier les performances en termes de classification des différents composants (composants pour l'exécution des structures, murs, planchers et toitures).

- **Classification basés sur des normes nationales ou européennes (normes EN concernant la résistance au feu des composants, notamment la norme EN 13501-2, EN 13501-3).**

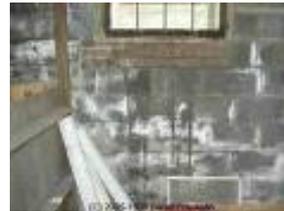
Pour la **résistance au feu** des éléments de cloisons intérieures, il est important de vérifier les exigences de la réglementation européenne applicable.

Exigences fondamentales applicables aux ouvrages de construction

Hygiène, santé et environnement

Les ouvrages de construction doivent être conçus et construits de manière à ne pas constituer, tout au long de leur cycle de vie:

- exerce une **menace pour l'hygiène ou la santé et la sécurité des travailleurs, des occupants ou des voisins;**



- et à ne pas avoir **d'impact excessif sur la qualité de l'environnement, ni sur le climat tout au long de leur cycle de vie, que ce soit au cours de leur construction, de leur usage ou de leur démolition**

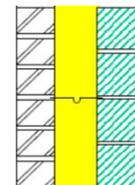


Exigences fondamentales applicables aux ouvrages de construction

Hygiène, santé et environnement

Les risques pour la Hygiène, santé et environnement sont les suivants:

- a) d'un dégagement de gaz toxiques;
- b) de l'émission, à l'intérieur ou à l'extérieur, de substances dangereuses, de composés organiques volatils (COV), de gaz à effet de serre ou de particules dangereuses;
- c) de l'émission de radiations dangereuses;
- d) du rejet de substances dangereuses dans les eaux souterraines, dans les eaux marines, les eaux de surface ou dans le sol;
- e) du rejet de substances dangereuses dans l'eau potable ou de substances ayant un impact négatif sur l'eau potable;
- f) d'une mauvaise évacuation des eaux usées, de l'émission de gaz de combustion ou d'une mauvaise élimination de déchets solides ou liquides;
- g) de l'humidité dans des parties de l'ouvrage de construction ou sur les surfaces intérieures de l'ouvrage de construction

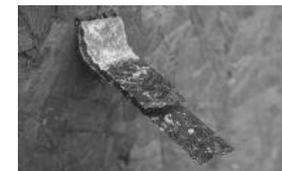


Exigences fondamentales applicables aux ouvrages de construction

Hygiène, santé et environnement

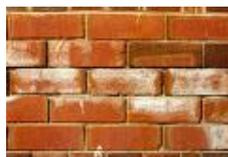
Il convient de souligner que la présence d'humidité à l'intérieur les façades peut impliquer des risques multiples, notamment :

- **dégradation de l'isolant des éléments;**
- **corrosion des éléments métalliques à l'intérieur et de la conséquence fissuration des éléments voisins**



Si cette humidité atteint les panneaux intérieurs de la façade, cela peut provoquer:

- **la formation de l'humidité et la moisissure de ces parements;**
- **dégradation progressive**



Exigences fondamentales applicables aux ouvrages de construction

Sécurité d'utilisation et accessibilité

Les ouvrages de construction doivent être conçus et construits de manière à ce que:

- leur utilisation ou leur fonctionnement ne présentent pas de risques inacceptables d'accidents ou de dommages tels que glissades, chutes, chocs, brûlures, électrocutions, blessures à la suite d'explosions ou cambriolages.

En particulier, les ouvrages de construction doivent être conçus et construits de manière à être accessibles aux personnes handicapées et utilisables par ces personnes.

Exigences fondamentales applicables aux ouvrages de construction

Protection contre le bruit

Les ouvrages de construction doivent être conçus et construits de manière à ce que:

- **le bruit perçu par les occupants** ou par des personnes se trouvant à proximité soit maintenu à un niveau tel que **leur santé ne soit pas menacée** et qui leur permette de dormir, de se reposer et de travailler dans des conditions satisfaisantes.

Exigences fondamentales applicables aux ouvrages de construction

Proteção contra o ruído

L'évaluation en termes de isolation acoustique des bâtiments devrait être faite en tenant compte de la législation nationale et la normalisation européenne

Protection acoustique des espaces délimités par des parois doit être assurée en limitant de la valeur d'index ($D_{nT,w}$).

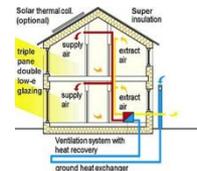
Exigences fondamentales applicables aux ouvrages de construction

Économie d'énergie et isolation thermique

Les ouvrages de construction ainsi que leurs installations de chauffage, de refroidissement, d'éclairage et d'aération doivent être conçus et construits de manière à ce que:

- **la consommation d'énergie qu'ils requièrent pour leur utilisation reste modérée compte tenu des conditions climatiques locales, sans qu'il soit pour autant porté atteinte au confort thermique des occupants.**

Les ouvrages de construction doivent également être efficaces sur le plan énergétique en utilisant le moins d'énergie possible au cours de leur montage et démontage.



Exigences fondamentales applicables aux ouvrages de construction

Économie d'énergie et isolation thermique

Il est important l'analyse des valeurs de l'inertie thermique des bâtiments et les valeurs du coefficient de transmission thermique (U):

- **éléments de murs, planchers et toitures) ;**
- **éléments de fenêtres et portes.**



Il est important, en particulier, d'évaluer le risque de:

- **humidité de condensation.**
- **basses températures qui causent l'inconfort des utilisateurs.**

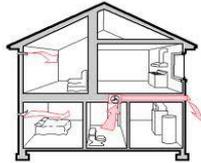


Exigences fondamentales applicables aux ouvrages de construction

Economia de energia e isolamento térmico

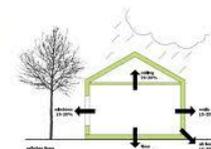
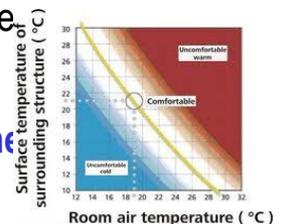
En ce qui concerne la perméabilité à l'air de l'enveloppe extérieure du bâtiment, les détails de conception des éléments environnants (en particulier celles relatives aux joints entre les composants), devrait :

- prévenir éviter des pertes inutiles des courants d'énergie et de l'air qui affectent l des utilisateurs ;
- minimiser le risque de condensation sur les parties intérieures du bâtiment



Vérification des exigences de la législation européenne en ce qui concerne les espaces intérieurs de ces édifices et les réglementations nationales implique : . A verificação das exigências da regulamentação nacional e da normativa europeia, no que se refere interiores destes edifícios, envolve:

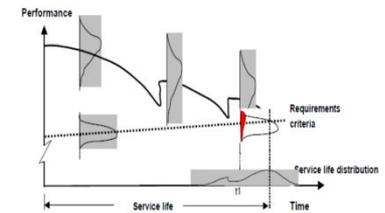
- limitation de la consommation d'énergie respectives ; obtenir un niveau adéquat de confort th



Exigences fondamentales applicables aux ouvrages de construction

Utilisation durable des ressources naturelles

Les ouvrages de construction doivent être conçus, construits et démolis de manière à assurer une utilisation durable des ressources naturelles et, en particulier, à permettre :



- la réutilisation ou la recyclabilité des ouvrages de construction, de leurs matériaux et de leurs parties après démolition;
- la durabilité des ouvrages de construction;
- l'utilisation, dans les ouvrages de construction, de matières premières primaires et secondaires.

Exigences fondamentales applicables aux ouvrages de construction

Utilisation durable des ressources naturelles

c) l'utilisation, dans les ouvrages de construction, de matières premières primaires et secondaires

- Il est de préférence la utilisation dans les constructions des matériaux de construction et d'isolation écologiques tels que la pierre, la brique de terre crue, ainsi que des énergies renouvelables et naturelles comme l'énergie solaire passive, les panneaux solaires, une éolienne, et toutes les énergies issues de la biomasse(tels que le bois et le biogaz).
- L'emploi de matériaux dont les matières premières incorporent beaucoup d'énergie d'extraction, de fabrication ou de transport, est à éviter le plus possible.

CONSIDÉRATIONS FINALES

- **Les technologies et les procédés de construction industrialisés ont évolué, au fil des siècles, dans la mesure de les exigences de performance des bâtiments, principalement liés à la sécurité et le confort, et dans les dernières décades on devient plus exigeante la satisfaction de les besoins fondamentaux des œuvres.**
- **Dans le contexte économique de ces dernières décennies, le choix des procédés de construction a été adressé, avant tout, en fonction de sa rentabilité et son économie. Les solutions constructives industrialisées peuvent donner une réponse possible à ces questions, ainsi que a des contraintes imposées pour la urgence de la minimisation de le impact environnemental, dès qu'ils respecte les fondements de la construction durable, et qu'ils sont bien eco-conçu.**

CONSIDÉRATIONS FINALES

L'écoconception a pour objectif de mieux respecter l'environnement aux différentes étapes du cycle de vie du produit. Parmi les méthodologies qui peuvent être intégrées dans **cette approche, et appliqués aux solutions de construction industrialisées**, on peut signaler:

- une étude plus approfondie du **comportement de l'utilisateur** mais aussi de ses valeurs, et une attention plus réfléchie portée au choix des matériaux et des technologies industrialisés mis en œuvre;
- des réflexions sur la mise à niveau, la **modularité de la construction industrialisés**, la durabilité, qui permettent de changer de point de vue et d'élaborer de nouveaux concepts de produit.
- **L'écoconception intègre les principes de prévention et de précaution** et porte sur tous les sites et étapes de production, transport, usage et élimination et sur le produit ou service, mais aussi sur les emballages, commodités de transport, d'usage et de recyclage, **qui, on croit, peuvent se appliquer aux solutions de construction industrialisées.**

Merci pour votre attention



Pour plus amples renseignements, communiquer avec :

JOSE LUIS MIRANDA DIAS

Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)

e-mail: mirandadias@lnec.pt