

AFFAISSEMENTS MINIERS

ANALYSE TECHNIQUE DES MODES CONSTRUCTIFS ALTERNATIFS DANS LE BASSIN SIDERURGIQUE ET FERRIFERE NORD-LORRAIN

RAPPORT FINAL

*Établi par le CSTB,
Département Sécurité, Structures et Feu.
Division Ingénierie de la Sécurité et Technologies Associées*

Mars 2006

(Ce document comporte 30 pages)

Sommaire

1. OBJET DE L'ETUDE	3
1.1. MAISON INDIVIDUELLE	3
1.2. PETIT COLLECTIF	4
2. TECHNIQUES CONSTRUCTIVES.....	4
2.1. GENERALITE	4
2.2. PRESENTATION DES FICHES DESCRIPTIVES	5
2.3. SUPERSTRUCTURE BOIS.....	5
2.3.1. <i>Eléments communs</i>	6
2.3.2. <i>Eléments différenciant</i>	7
Type 1 : structure de type poteau-poutre.....	7
Type 2 : Structures de type panneaux de bois reconstitués de grande dimension.....	8
Type 3 : Structures de type éléments empilés	9
2.4. SUPERSTRUCTURE ACIER	11
2.4.1. <i>Type 1 : structure de type poteaux poutres</i>	12
2.4.2. <i>Type 2 : Structures de type profilés métalliques minces</i>	14
2.4.3. <i>Type 2 : Structures modulaires préfabriquées</i>	15
2.5. PROCÉDES CONSTRUCTIFS REPERTORIES DANS LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE.....	16
2.5.1. <i>Soubassements (communs aux superstructures acier et bois)</i>	16
2.5.2. <i>Principes de conception de la superstructure :</i>	18
3. COMPARATIF AVEC LES SYSTEMES TRADITIONNELS EN MAÇONNERIE ET BETON	20
3.1. SATISFACTION AUX REGLEMENTATIONS EN VIGUEUR	20
3.1.1. <i>Stabilité au séisme</i>	20
3.1.2. <i>Résistance au feu</i>	21
3.1.3. <i>Réglementation thermique</i>	22
3.1.4. <i>Réglementation acoustique</i>	24
3.2. DIFFUSION DES METHODES DE DIMENSIONNEMENT, DU SAVOIR-FAIRE ET DE LA MISE EN ŒUVRE.....	25
3.3. ESTIMATION DES COUTS.....	25
4. RESULTATS DE L'ETUDE.....	26

1. Objet de l'étude

L'objet de cette étude est d'évaluer les avantages et inconvénients des modes constructifs alternatifs bois et acier par rapport au système constructif maçonné ou en béton, vis-à-vis de leur comportement en cas d'affaissement progressif.

Cette étude s'appuie sur une partie de la typologie établie dans l'étude de 2003 sur « l'incidence des affaissements miniers prévisibles sur l'urbanisation » :

- bâtiment à rez-de-chaussée et un étage partiel (maison individuelle)
- bâtiment à rez-de-chaussée et deux étages (petit bâtiment d'habitation collectif, bureaux),

Compte tenu du meilleur comportement attendu des modes constructifs alternatifs, les dimensions en plan pourraient être plus importantes que celles précédemment étudiées, pour un même niveau de sécurité pour les occupants.

Compte tenu de la sensibilité des dallages sur terre-plein vis-à-vis des mouvements de sol, cette solution est d'emblée exclue et seule la solution d'un plancher bas sur vide sanitaire est acceptée.

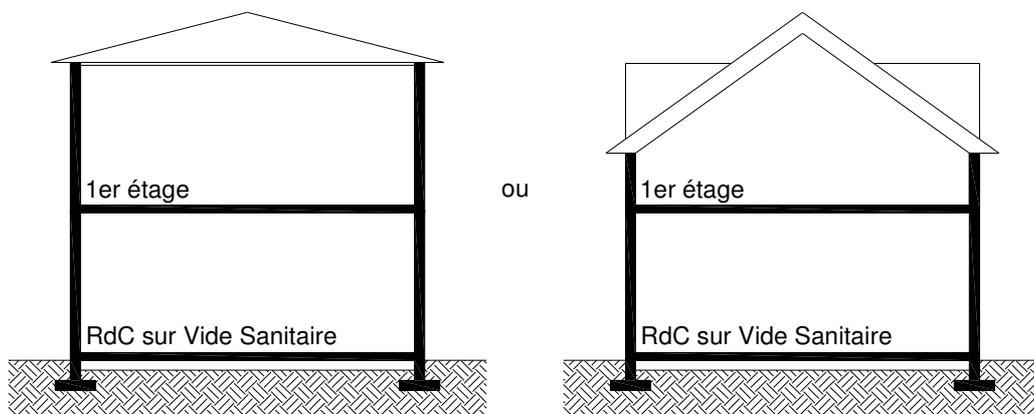
1.1. Maison individuelle

Dimensions à respecter :

- hauteur d'étage courante, inférieure à 3 m.
- dimension en plan : 9 x 14 m, soit 126 m².

Plusieurs paramètres architecturaux sont étudiés, tels que :

- formes en plan rectangulaires avec possibilité de décrochements,
- présence de grandes ouvertures en façade,
- nature du dernier niveau (combles aménagés ou étage d'hauteur courante)



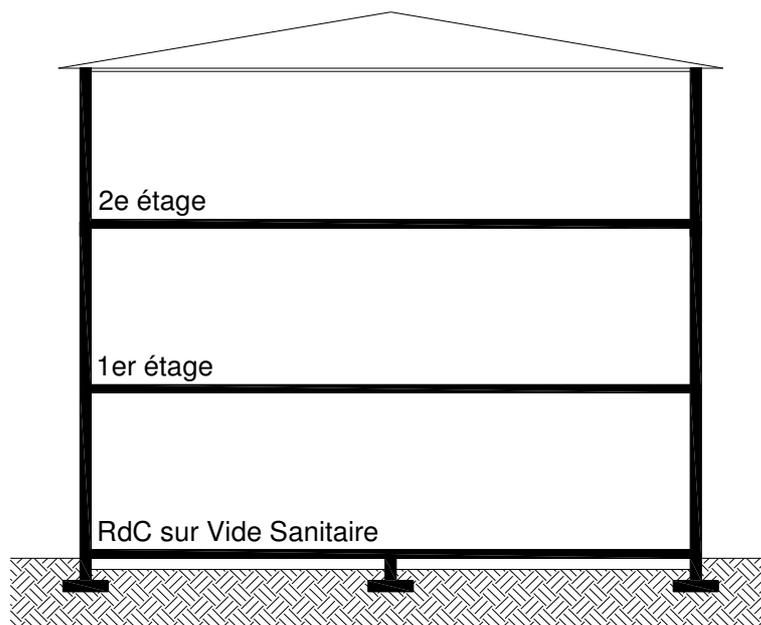
1.2. Petit collectif

Dimensions à respecter :

- hauteur d'étage courante, inférieure à 3 m.
- dimension en plan : 15 x 25 m, soit 375 m².

Plusieurs paramètres architecturaux sont étudiés, tels que :

- formes en plan rectangulaires avec possibilité de décrochements,
- présence de grandes ouvertures en façade, en particulier au rez-de-chaussée.



Remarque : par retour d'expérience sur les ouvrages déjà réalisés, ceux-ci comportent généralement au plus trois niveaux (un rez-de-chaussée et deux étages).

2. Techniques constructives

2.1. Généralité

Les systèmes constructifs acier ou bois sont des systèmes légers qui présentent les points communs suivants :

- les réseaux, les revêtements de sol et les menuiseries utilisés sont identiques à ceux mis en place dans les systèmes traditionnels,
- les cloisons séparatives et les cloisons de distributions sont constituées de panneaux (bois ou plâtre) sur une ossature bois ou métallique. Les solutions de type carreaux de plâtre ou de terre cuite ne sont pas employées,
- les soubassements sont identiques aux modes constructifs traditionnels. De ce point de vue, leur comportement vis-à-vis des risques miniers sera donc similaire à celui déjà étudié

lors de la précédente étude, et des dispositions constructives de renforcement vis-à-vis des mouvements de sol seront préconisés.

2.2. Présentation des fiches descriptives

Dans la suite de l'étude, 20 procédés ou techniques constructives ont été répertoriées. 10 concernent des superstructures à base de bois et 10 des superstructures à base d'acier (aluminium pour une d'entre elles : procédé LBH)

Chaque technique fait l'objet d'une fiche descriptive (annexe 1) comportant 11 rubriques :

1. Rubrique 1 : renseignements généraux sur l'entreprise (nom, coordonnées, contact) et sur l'origine des informations nécessaires pour compléter les autres rubriques.
2. Rubrique « Résumé »: résumé qui permet d'identifier les principales caractéristiques du procédé, ses avantages et inconvénients.
3. Rubrique « Informations réglementaires » : liste des brevets, avis techniques... concernant le procédé constructif décrit.
4. Rubrique « Données géométriques des bâtiments » : informations relatives aux contraintes d'ordre géométriques (hauteur, longueur...) liées au procédé décrit.
5. Rubrique « Données techniques pour le gros œuvre » : informations relatives à la structure porteuse de l'ouvrage, à son contreventement et aux liaisons entre ses différentes parties.
6. Rubriques « Données techniques pour le gros œuvre (fondations) » : données complémentaires à la rubrique précédente, relatives aux fondations et aux liaisons entre les fondations et la superstructure.
7. Rubrique « Données techniques pour le second œuvre » : informations relatives aux contraintes sur le second œuvre (revêtements, réseaux...) liées au procédé décrit.
8. Rubrique « Données mécaniques des matériaux employés » : informations relatives aux résistances et au module élastique des matériaux du gros œuvre.
9. Rubrique « Références » : informations sur le nombre d'ouvrages réalisés et les publications dans la presse spécialisée, concernant le procédé décrit.
10. Rubrique « Mouvements admissibles » : informations relatives aux mouvements auxquels le procédé constructif peut résister de manière satisfaisante (y compris mouvements d'origine sismique).
11. Rubrique « Détails techniques » : catalogue de schémas, plans et/ou photos permettant de visualiser le plus grand nombre de détails techniques relatifs au procédé décrit

2.3. Superstructure bois

Dix entreprises ont été sélectionnées et ont fait l'objet d'une fiche descriptive. Elles proposent différents systèmes constructifs qu'on peut classer selon la typologie de la structure porteuse et la rapidité de mise en oeuvre :

- Type 1 : Structures de type poteau-poutre
- Type 2 : Structures de type panneaux de bois reconstitués de grande dimension.
- Type 3 : Structures en éléments empilés

- Mise en œuvre « très rapide » (quelques jours)
- Mise en œuvre « rapide » (quelques semaines)
- Mise en œuvre « lente » (plusieurs mois) :

Les différences de rapidité de mise en œuvre s'expliquent par l'utilisation plus ou moins importante de la préfabrication. Il en résulte que certains procédés constructifs sont très dépendants du savoir faire et de l'équipement industriel de l'entreprise qui les mettent en œuvre alors que d'autres procédés sont davantage partagés entre différentes entreprises.

TABLEAU 1 : LISTE DES 10 PROCEDES CONSTRUCTIFS AYANT FAIT L'OBJET D'UNE FICHE.

Nom de l'entreprise et/ou du système constructif	N° de fiche	Type de structure porteuse	Rapidité de mise en oeuvre	Type de constructions
SOCOPA	1	poteau-poutre	très rapide	logements, petits collectifs
Procédé KLH Entreprise LIGNATEC	2	panneaux de bois reconstitués	rapide	logements, petits et grands collectifs
Procédé SANTNER Entreprise LES HOMMES DU PAYS	3	panneaux de bois reconstitués	rapide	logements, petits et grands collectifs
Procédé DOMESPACE	4	poteau-poutre	lente	logements
ABRI 2000	5	éléments massifs empilés (madriers, rondins)	rapide	petits logements
HONKA	6	éléments massifs empilés (madriers, rondins)	lente (bois non calibré) ou rapide (bois calibré)	logements, petits collectifs
DOREAN	7	poteau-poutre	rapide	logements, petits collectifs
Procédé SAPI SOL Entreprise SIMONIN	8	poteau-poutre	lente	logements, petits et grands collectifs
Procédé MODULAM	9	poteau-poutre	rapide	petits collectifs
Procédé HOUOT	10	poteau-poutre	très rapide	logements

2.3.1. Eléments communs

Pour l'ensemble de ces procédés constructifs, les fondations et les soubassements sont semblables à ceux observés pour les procédés constructifs traditionnels. Néanmoins, le faible poids des structures à ossature bois, comparées aux structures en maçonnerie conduit à quelques différences :

- fondations généralement plus petites ;
- pathologies associées aux fondations moins fréquentes ;

La plupart des système constructifs peuvent s'envisager avec différents soubassements : dalle sur terre-plein ou dalle sur vide sanitaire. Les deux solutions peuvent reprendre les charges de la structure.

Les assemblages entre les différents éléments sont collés et/ou mécanique. Les assemblages mécaniques utilisent parfois des éléments métalliques de type cornières. La colle est essentiellement utilisée pour la reconstitution de panneaux de bois (ex. des procédés KLH et SANTNER) et pour la réalisation d'assemblages en complément ou non d'assemblages mécaniques (vis, clous...)

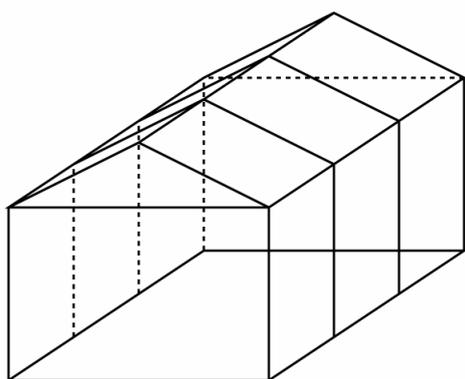
Le premier plancher est généralement réalisé en béton, alors que les suivants sont généralement réalisés en bois.

Enfin, les ossatures en bois peuvent être soumises à des variations dimensionnelles liées aux variations hygrométriques.

2.3.2. Éléments différenciant

Les principaux éléments différenciant les structures à ossature bois sont synthétisés par la typologie suivante, basée sur le système porteur du bâti :

Type 1 : structure de type poteau-poutre.



Superstructure composée d'une succession de portiques identiques. L'espace entre les portiques est comblé par des panneaux ou des éléments empilés qui ne sont pas porteurs mais qui peuvent assurer ou contribuer au contreventement.

Dimension type des portiques	50 mm * 150 mm
Entraxe type de portiques	inférieure à 1m
Matériau type des éléments d'ossature	résineux
1 ^{er} niveau type	dalle BA coulée sur terre plein ou plancher entrevous sur vide sanitaire
Mise en oeuvre	Procédé pouvant faire appel partiellement ou totalement à la préfabrication.

Ce type de structure est à la fois le plus courant et celui pouvant être mis en œuvre par le plus grand nombre d'entreprises.

Il consiste en la réalisation d'une ossature en bois selon une trame généralement d'ordre métrique sur laquelle vient se fixer une enveloppe. Cette enveloppe est un complexe plus ou moins élaboré permettant d'assurer au minimum le clos, généralement l'isolation et parfois également l'étanchéité (air et eau) et différents services (passage des gaines électriques...). Cette enveloppe peut être réalisée selon deux familles :

- Panneaux (contreplaqué, OSB...) qui peuvent être pris en compte pour assurer le contreventement de l'ouvrage.
- Eléments empilés (ex. du procédé SAPISOL) qui ne sont pas pris en compte dans le contreventement et qui ne sont pas porteurs.

Lorsque le contreventement n'est pas assuré par les panneaux ou les éléments empilés, il convient de l'assurer par l'ossature elle-même.

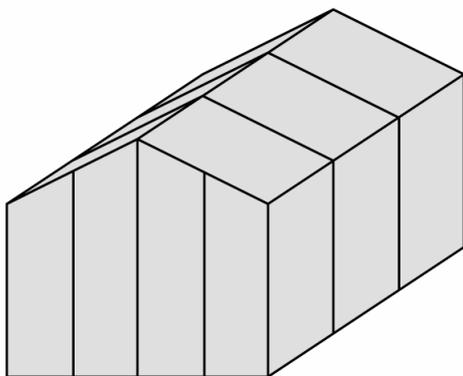
Du point de vue structurel, le dimensionnement de ces ouvrages utilise le D.T.U. 31.2 de mai 1993 « *construction de maisons et bâtiments à ossature bois* » et CB 71 « *règles de calcul et de conception des charpentes bois* ».

Les fondations, sont toujours ponctuelles (ouvrages légers) et doivent permettre à l'ensemble des éléments en bois d'être à l'abri de l'humidité stagnante. Pour cette raison, le premier plancher est toujours en béton (dalle sur terre-plein, plancher entrevous sur vide sanitaire...).

Les liaisons fondations-superstructure utilisent généralement des connecteurs métalliques (équerres par exemple) qui présentent l'avantage d'être faciles à fixer dans les fondations et qui peuvent permettre de surélever légèrement l'ossature en bois afin de lui éviter d'être en contact avec le béton (risque d'accumulation d'eau ou de remontées capillaires).

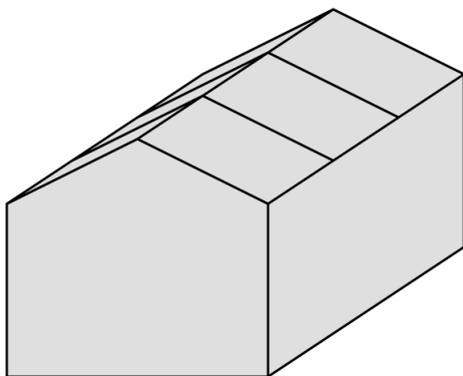
Les liaisons entre éléments d'ossature sont généralement mécaniques (clous, vis, tirrefonds...). Seul le procédé DOREAN propose des liaisons collées.

Type 2 : Structures de type panneaux de bois reconstitués de grande dimension.



Superstructure composée de panneaux en bois contre-collé de grande dimension. Ces panneaux sont porteurs et se comportent que des voiles.

La charpente peut être soit traditionnelle, soit réalisée avec ces mêmes éléments.



Les façades peuvent être réalisées par une juxtaposition de panneaux de « petite » dimensions ou au moyen d'un seul panneau de grande dimension

Épaisseur type des panneaux	100 mm pour les murs, 150 à 200 pour les planchers.
Largeur type des panneaux	1m (position verticale) à 3m (position

	horizontale)
Matériau type des éléments d'ossature	résineux contrecollés : résistance à la compression de l'ordre de 10 MPa et résistance à la traction de l'ordre de 7,5 MPa
1 ^{er} niveau type	dalle BA coulée sur terre plein ou plancher entrevous sur vide sanitaire
Mise en oeuvre	Procédé nécessitant la préfabrication des panneaux contrecollés et leur usinage en usine. La mise en œuvre sur site nécessite un savoir faire particulier.

Ce type de structure n'est pas courant. Il est basé sur l'emploi de panneaux en bois de grandes dimensions (3 mètre de large et jusqu'à une vingtaine de mètre de long) qui vont avoir des comportements de type voile.

Deux fiches concernent ce procédé. Ce sont deux entreprises concurrentes qui fabriquent ce type de panneaux (KLH et SANTNER). Les panneaux sont réalisés en contrecollant des planches dans des directions perpendiculaires. Selon le nombre de contrecollages, l'épaisseur finale du panneau peut atteindre 60 cm.

Les panneaux sont préfabriqués en usine et prédécoupés selon les cotes souhaitées. L'ensemble des ouvertures (portes, fenêtre) sont prédécoupées en usine. Le chantier consiste donc essentiellement à assembler les différents éléments préfabriqués.

Les panneaux peuvent rester bruts à l'intérieur du bâtiment, mais il est fortement déconseillé de les laisser bruts à l'extérieur en raison des pathologies du bois en milieu humide.

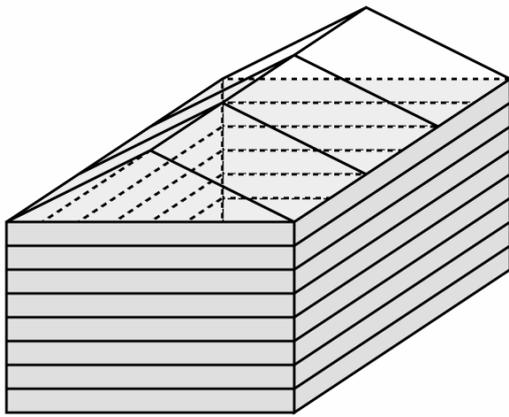
Du point de vue structurel, le dimensionnement de ces ouvrages utilise des documents techniques fournis par les entreprises.

Les fondations sont toujours ponctuelles (ouvrages légers) et doivent permettre à l'ensemble des éléments en bois d'être à l'abri de l'humidité stagnante. Pour cette raison, le premier plancher est toujours en béton (dalle sur terre-plein, plancher entrevous sur vide sanitaire...).

Les liaisons fondations-superstructure utilisent généralement des connecteurs métalliques (équerres par exemple) qui présentent l'avantage d'être faciles à fixer dans les fondations et qui peuvent permettre de surélever légèrement l'ossature en bois afin de lui éviter d'être en contact avec le béton (risque d'accumulation d'eau ou de remontées capillaires).

Les liaisons entre éléments d'ossature sont mécaniques (clous, vis, tirrefonds...) et/ou collées.

Type 3 : Structures de type éléments empilés



Superstructure composée de poutres en bois calibrées et empilées. Aux angles de la construction, les poutres sont emboîtées l'une dans l'autre selon le même procédé que les chalets nordiques (en rondins massifs). La charpente est réalisée de manière traditionnelle.

Épaisseur type des poutres calibrées	100 mm pour les murs
Matériau type des éléments d'ossature	résineux
1 ^{er} niveau type	dalle BA coulée sur terre plein ou plancher entrevous sur vide sanitaire
Mise en oeuvre	Procédé nécessitant la préfabrication des poutres calibrées en usine mais dont la mise en œuvre sur site ne présente pas de difficultés excessives.

Ce type de structure est inspirés des structures de types chalets nordiques dont les murs sont constitués de troncs d'arbres. pas courant. On se limitera ici à décrire les procédés utilisant des poutres en bois calibrées et qui aboutissent à des maisons dont l'architecture intérieurs et extérieurs reste classique.

Deux fiches concernent ce procédé (ABRI2000 et HONKA). Les poutres en bois calibrées sont fabriquées en usine. Elles ont ainsi la même dimension et sont usinées afin de permettre leur emboîtement. Contrairement à l'utilisation de troncs non calibrés qui nécessitent une main d'œuvre très qualifiée et un temps de mise en œuvre long, l'utilisation de poutres calibrées rend le procédé accessible à des entreprises moins spécialisées.

Du point de vue structurel, le dimensionnement de ces ouvrages utilise des documents techniques fournis par les entreprises.

Les fondations sont toujours ponctuelles (ouvrages légers) et doivent permettre à l'ensemble des éléments en bois d'être à l'abri de l'humidité stagnante. Pour cette raison, le premier plancher est toujours en béton (dalle sur terre-plein, plancher entrevous sur vide sanitaire...).

Les liaisons fondations-superstructure utilisent généralement des connecteurs métalliques (équerres par exemple) qui présentent l'avantage d'être faciles à fixer dans les fondations et qui peuvent permettre de surélever légèrement l'ossature en bois afin de lui éviter d'être en contact avec le béton (risque d'accumulation d'eau ou de remontées capillaires).

Les liaisons entre éléments d'ossature sont font par emboîtement et n'utilisent ni connecteurs, ni colle.

2.4. Superstructure acier

Les procédés constructifs à base métal utilisent quasi exclusivement l'acier. Néanmoins, il existe également des procédés utilisant l'aluminium (Fiche LBH).

Globalement, les procédés utilisant des superstructures métalliques pour les maisons individuelles sont moins développés que les procédés à base de bois. On trouvera en revanche une grande diversité des revêtements et/ou du bardage extérieur.

L'analyse de ce secteur fait apparaître trois types de constructions métalliques pour maisons individuelles :

- Type 1 : Structures de type poteaux poutres (construction traditionnelle)
- Type 2 : Structures de type profilés métalliques minces.
- Type 3 : Structures modulaires préfabriquées. (poteaux poutres)

TABLEAU 2 : LISTE DES 10 PROCÉDES CONSTRUCTIFS AYANT FAIT L'OBJET D'UNE FICHE OU RÉFÉRENCE PAR UN AVIS TECHNIQUE.

Nom de l'entreprise et/ou du système constructif	N° de fiche	Type de structure porteuse	Rapidité de mise en oeuvre	Type de constructions
ALGECO	11	Modulaire poteaux poutres	très rapide	logements
Procédé Styltech (ARCELOR)	12	Profilés minces	lente	logements, petits collectifs
LBH	13	poteaux poutres	très rapide	logements
CLASP	14	poteaux poutres	rapide	petits et grands collectifs
Maison PHENIX	15	Profilés minces	Lente	Logements
Maison MEPAC	16	Profilés minces	Lente	Logement, petits collectifs et bureaux
Maison CONCEPT	17	Profilés minces	Lente	Logements

Nom de l'entreprise et/ou du procédé de façade	Avis technique	Descriptif sommaire
INVENTEAM	2/04-1110 (fiche 18)	Procédé de façade de maisons constitué d'une ossature en profilés métalliques en tôle mince supportant des panneaux isolants (PSE) extérieurs revêtus côté extérieur d'un enduit mince armé et côté intérieur d'un enduit de ciment projeté. La finition intérieure est obtenue par des plaques de plâtre cartonées.
DON REYNOLDS	2/03-1045 (fiche 19)	Procédé de façade légère en profilés d'aluminium sa caractérisant par un système de fixation de remplissage par cadres en profilés silicone.
STRUCTAL 80	2/00-783 (fiche 20)	Système de façade légère comportant des bâtis et des vantaux réalisés à l'aide de profilés en aluminium à coupure thermique.

--	--	--

L'ensemble des procédés est basé sur un soubassement en béton armé traditionnel. De même que les structures en bois, l'utilisation de structure métallique (plus légère que la maçonnerie traditionnelle) conduit à quelques différences :

- fondations généralement plus petites ;
- pathologies associées aux fondations moins fréquentes ;

La superstructure est composée de profilés métalliques, soudés ou boulonnés entre eux pour constituer des pans de stabilité en deux ou trois dimensions.

Les planchers sont principalement de type collaborant (acier et béton) ou éventuellement en bois.

Le domaine d'utilisation des ouvrages de type 1 est généralement orienté vers les bureaux, le logement collectif ou les bâtiments industriels.

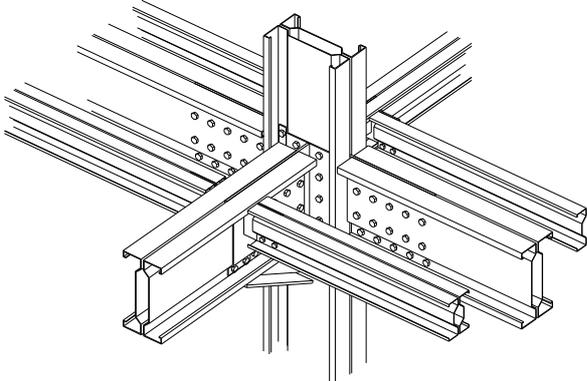
Le domaine d'utilisation des ouvrages de type 2 est essentiellement orienté vers les maisons individuelles.

Le domaine d'utilisation des ouvrages de type 3 essentiellement orienté vers les maisons individuelles, petits collectifs ou bureaux.

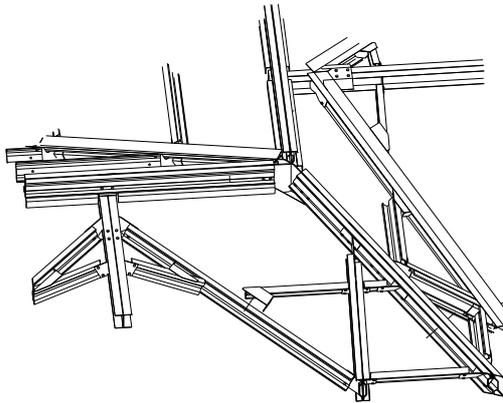
D'une manière générale, les ossatures principales sont assemblées par boulonnage ou soudage alors que les ossatures secondaires (lorsqu'il y en a) sont assemblées par vissage.

2.4.1. Type 1 : structure de type poteaux poutres.

Ces structures représentent la construction métallique traditionnelle. Elles sont réalisées à partir de profilés standard et permettent la construction de bâtiment de grandes dimensions. Ce type de structure traditionnelle ne fait pas l'objet de procédé de construction complet. Seul des publications y font référence. La seule fiche utilisant cette technique est celle du procédé CLASP.

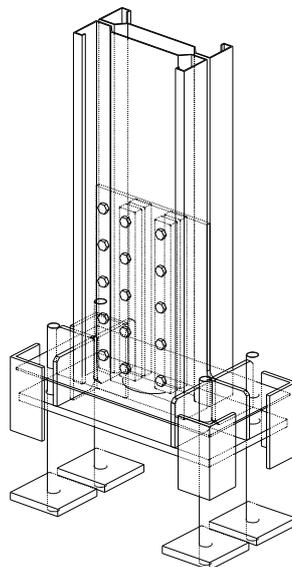
 <p><i>Exemple de liaison entre plusieurs portiques</i></p>	<p>Superstructure composée de portiques dans une ou deux directions. L'espace entre les portiques est parfois comblé par une ossature secondaire qui supporte le bardage.</p>
<p>Dimensionnement type des portiques</p>	<p>L'ossature primaire est réalisée avec des poutrelles standard du commerce. L'ossature secondaire est composée de profilés minces.</p>

Soubassement	Dans la plupart des cas, l'ossature est ancrée sur de fondations superficielles isolées en béton armé.
Matériau type des éléments d'ossature	Les éléments d'ossature sont en acier de nuance S235.
1 ^{er} niveau type	Le premier niveau est généralement réalisé par un dallage.
Mise en oeuvre	Ce type de structure est intégralement réalisé sur chantier. La mise en œuvre demande des moyens importants (notamment de levage).
Toiture	Réalisée en structure métallique traditionnelle, elle peut être conçue et calculée suivant les règles habituelles.



Du point de vue structurel, le dimensionnement à froid de ces ouvrages utilise les règles de calcul CM 66 (ou EUROCODE 3 partie 1-1). Le dimensionnement à chaud nécessite l'utilisation du DTU règles FA (ou l'EUROCODE 3 partie 1-2). Enfin, le dimensionnement sous action sismique nécessite l'utilisation des règles PS92 (ou l'EUROCODE 8).

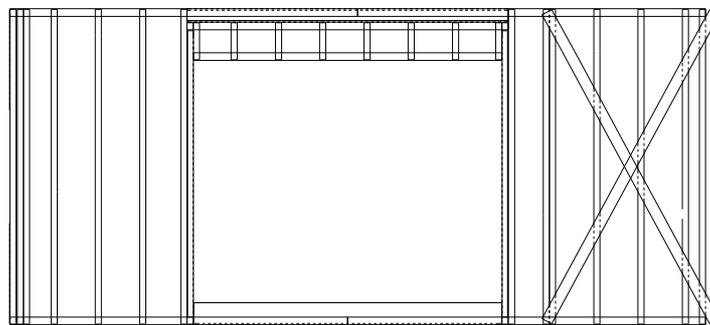
Les liaisons entre les fondations et la superstructure utilisent généralement des connecteurs métalliques ancrés dans le béton des fondations et boulonnés avec la superstructure.



2.4.2. Type 2 : Structures de type profilés métalliques minces.

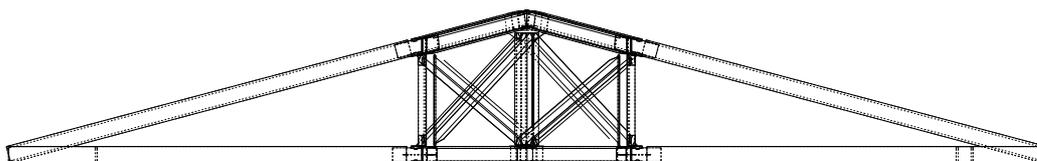
Ce type de structure représente la très grande majorité des concepts de maisons individuelles. L'intérêt est d'associer la légèreté de la structure métallique et une plus grande facilité de mise en œuvre des profilés minces.

La superstructure est composée d'une série de profilés minces très rapprochés (entraxe inférieur à 1m). Les profilés sont tenus en tête et en pied par des rails. Dans la plupart des cas, le contreventement est assuré par des croix de saint André.



Exemple d'un mur avec un élément de contreventement et une ouverture.

Dimensionnement type	Les profilés minces constituent l'ossature porteuse de la construction ainsi que la structure secondaire lorsqu'il y en a une. Les profilés sont dans la majorité des cas réalisés par vissage. Un chaînage peut parfois être recommandé.
Soubassement	Dans la plupart des cas, l'ossature est ancrée sur de fondations superficielles filantes en béton armé.
Matériau type des éléments d'ossature	Plusieurs nuances d'acier peuvent être utilisées comprises entre S275 et S355
1 ^{er} niveau type	Le premier niveau est généralement réalisé par un dallage.
Mise en oeuvre	Ce type de structure est intégralement réalisé sur chantier. Et demande des moyens moins important que les structures de type 1.
Toiture	La charpente est souvent réalisée en usine puis assemblée au reste de la structure. Deux types de ferme existent : en bois ou en acier.



Ce type de structure fait presque toujours partie d'un procédé complet de construction de maison individuelle. L'intérieur est habillé suivant les techniques de plaques de plâtre sur ossature métallique. L'extérieur est réalisé à partir d'éléments en béton ou en plastique.

Bien que le principe de dimensionnement soit toujours le même pour un procédé donné, la plupart des systèmes nécessitent d'être calculés au cas par cas pour tenir compte de la situation exacte de la construction. L'utilisation en zone sismique demande alors un renforcement des structures en utilisant des assemblages boulonnés ou soudés.

Les liaisons entre les fondations et la superstructure sont réalisées au niveau du rail bas et au moyen de chevilles métalliques pour béton (chevilles à frapper ou à expansion). L'espacement de ces fixations tient compte essentiellement des efforts de vent.

2.4.3. Type 2 : Structures modulaires préfabriquées.

Ce type de construction est très connu dans la construction provisoire et commence à apparaître dans la construction de petits bâtiments permanents. Deux constructeurs ont des projets suffisamment aboutis pour être cités : ALGECO et COUGNAUD.

Le principe est une préfabrication quasiment intégrale en usine suivi d'un montage rapide sur chantier. Le principal intérêt réside dans cette rapidité de montage.

	<p>L'ossature de chaque module est constituée de poutrelles métalliques du commerce. Une fois les modules assemblés, du béton armé peut être ajouté afin de constituer certains planchers, des poteaux mixtes acier béton ou des chaînages.</p>
<p>Dimensionnement type.</p>	<p>Le contreventement de la structure est assuré par des croix de saint André insérées au niveau de chaque module.</p>
<p>Soubassement</p>	<p>Dans la plupart des cas, l'ossature est ancrée sur de fondations superficielles, filantes ou isolées, en béton armé.</p>
<p>Matériau type des éléments d'ossature</p>	<p>Les éléments d'ossature sont en acier de nuance S235. Le béton est de type 25 ou 30 MPa.</p>
<p>1^{er} niveau type</p>	<p>Le plancher du premier niveau est presque toujours réalisé en béton armé.</p>
<p>Mise en oeuvre</p>	<p>La mise en œuvre est très rapide et demande des moyens de levage assez lourds ainsi qu'une expertise assez poussée.</p>

Les procédés de construction modulaire sont des systèmes complets de gros œuvre et second œuvre.

De même que les procédés de construction à profilés minces, le principe de dimensionnement est toujours le même pour un procédé donné. Ils doivent également être calculés au cas par cas pour tenir compte de la situation exacte de la construction. L'utilisation en zone sismique demande alors un renforcement des structures en utilisant des assemblages boulonnés ou soudés.

Les liaisons entre les fondations et la superstructure utilisent des connecteurs métalliques ancrés dans le béton des fondations et boulonnés avec la superstructure.

2.5. Procédés constructifs répertoriés dans la littérature scientifique

L'étude de la bibliographie scientifique ne permet pas de recenser d'autres procédés constructifs. Seul le procédé CLASP, déjà décrit (structures métalliques) semble avoir fait l'objet de recherches et de publications scientifiques.

Néanmoins, il est possible de définir plusieurs familles d'actions favorables à la résistance des ouvrages en site à risque d'affaissement. Ces actions concernent :

- les fondations,
- la superstructure.

2.5.1. Soubassements (communs aux superstructures acier et bois)

- **Joints de glissement sous les fondations :**

Les joints de glissements consistent à mettre en place, sous les fondations, une couche qui va limiter les efforts de frottements pouvant solliciter la structure (tableau 2). Le principe est d'agir sur le coefficient de frottement de la couche elle-même, ou sur le coefficient de frottement entre le terrain et la fondation. Cependant, le frottement dépend également de la contrainte verticale sur la surface de frottement, et le frottement peut donc être minimisé en diminuant le poids de la construction (SDMHBL 1986). La couche proposée est généralement en matériaux granulaires avec éventuellement l'adjonction d'une membrane en polyéthylène (tableau 2).

tableau 2 : Réalisation d'un joint de glissement sous les fondations

Auteurs	Epaisseur et matériaux de la couche	Adjonction d'une membrane
NCB (1975)	15 cm de sable	oui
Institution of Civil Engineers (1977)	construction légère : 15 cm de sable compacté, de cendres volantes ou autre matériau granulaire approprié.	oui entre le sable et la fondation
	construction lourde Gros béton (5mm), puis 15 cm de sable compacté ou équivalent, puis la membrane et un radier non armé de 10 cm sur lequel sont construites les fondations.	oui
Geddes (1984)	Matériau granulaire	non
Bell (1988)	25 cm de sable	oui

Soots (1969)	Carton bitumineux interposé entre la fondation et le diaphragme, sur une chape bien dressée.	
Kwiatek (1998)	Matériau sableux à grains fin, sans cohésion : 30 cm si L < 10 m ; 60 cm si L > 30 m Matériau granulaire à gros grains : 40 cm si L < 10 m ; 70 cm si L > 30 m Un minimum de 50 cm est conseillé	non

La figure 1-A et B présente des exemples dont certains constituent de véritables "sandwich" (Bell 1988). Triplett et al. (1992) ont réalisé une expérience en Afrique du Sud, qui a consisté à étudier le comportement de plusieurs fondations subissant un affaissement, identiquement chargées, mais possédant des caractéristiques différentes et fondées ou non sur une couche de glissement. La fondation reposant sur une couche de sable plus une feuille de polyéthylène ne s'est pas comportée de manière beaucoup plus satisfaisante que la fondation témoin qui reposait uniquement sur le sol. Seules les fondations en béton armé ou précontraint ont été suffisamment résistantes. D'ailleurs, Neuhaus (1965) estime qu'il est difficile d'atteindre un coefficient de frottement inférieur à 2/3 et donc relativement proche du coefficient de frottement naturellement considéré entre un sol et du béton, ce que confirment Yokel et al (1981). Le frottement transmissible ne sera donc jamais négligeable.

- **Joints de glissement au-dessus des fondations :**

Compte tenu des cotes hors-gel à respecter, les fondations seront toujours enterrées et subiront donc la poussée des terrains. Le joint de glissement est donc placé, ici, au-dessus des fondations afin d'autoriser leur déplacement sans qu'il se transmette au reste de l'ouvrage. Différents schémas de principe ont été élaborés et regroupés sur la figure 1-C, D et E.

Cette mesure impose de vérifier qu'après d'éventuels déplacements de la superstructure par rapport aux fondations, ces dernières sont toujours à l'aplomb des éléments structuraux dans lesquels s'effectue la descente de charges. C'est pourquoi il peut être nécessaire de surdimensionner la largeur de la fondation (Neuhaus 1965). Cette mesure revient indirectement à augmenter la souplesse de l'ouvrage au niveau de ses fondations et elle peut inspirer des mesures de protection lorsqu'il s'agit de recréer dans une construction de tels joints.

- **Fondations isostatiques :**

Cette solution consiste à réaliser la liaison entre les fondations d'une structure et la superstructure au moyen d'un dispositif isostatique ou s'en rapprochant. Cette mesure, malgré son aspect théorique, peut être intéressante puisqu'il permet à l'ouvrage de n'être sollicité que par l'inclinaison de ses appuis (Kratzsch, 1983). Cette solution semble bien adaptée aux procédés constructifs modulaires (ALGECO et HOUOT).

- **Réalisation de fondations rigides :**

Le choix d'opter pour des fondations rigide correspond à une volonté de résister aux efforts induits par la déformation du terrain afin de limiter au maximum les efforts et déplacements sollicitant la superstructure.

Les fondations doivent alors constituer un ensemble homogène (Soots 1969). Choisir de réaliser des fondations rigides leur permet de résister, sans se déformer ni se rompre, aux mouvements du terrain. La rigidité et la résistance peuvent être atteintes en réalisant un radier (ICE 1977, Whitaker et Reddish 1989), un radier cellulaire (NCB 1975, Pellisier et Williams 1992) ou à l'aide de deux réseaux de fondations filantes, perpendiculaires, rigidifiées à l'aide de tirants métalliques dans les diagonales (Ji-Xian 1985, Kwiatek 1998).

- **Réalisation de fondations flexibles :**

Le choix d'opter pour des fondations flexibles correspond à une volonté d'amortir les mouvements des terrains en s'ajustant à sa forme et en ne transmettant à la superstructure qu'une part réduite de ses mouvements. Pour ce faire deux techniques ont été proposées :

Le radier flexible ou "diaphragme". C'est un radier fortement armé mais possédant de nombreux joints afin de lui fournir une rigidité importante en traction/compression et une grande souplesse en flexion. L'idée est donc de permettre à la fondation de s'adapter à la courbure des terrains mais de résister à la déformation (Soots 1969, Neuhaus 1965). Les principes apparaissent sur la figure 1-A et B

Désolidarisation des fondations et de la superstructure. Cette technique rejoint celle des joints horizontaux au-dessus des fondations (Soots 1969). Lesage (1954) propose d'intercaler des rouleaux entre les fondations et la superstructure.

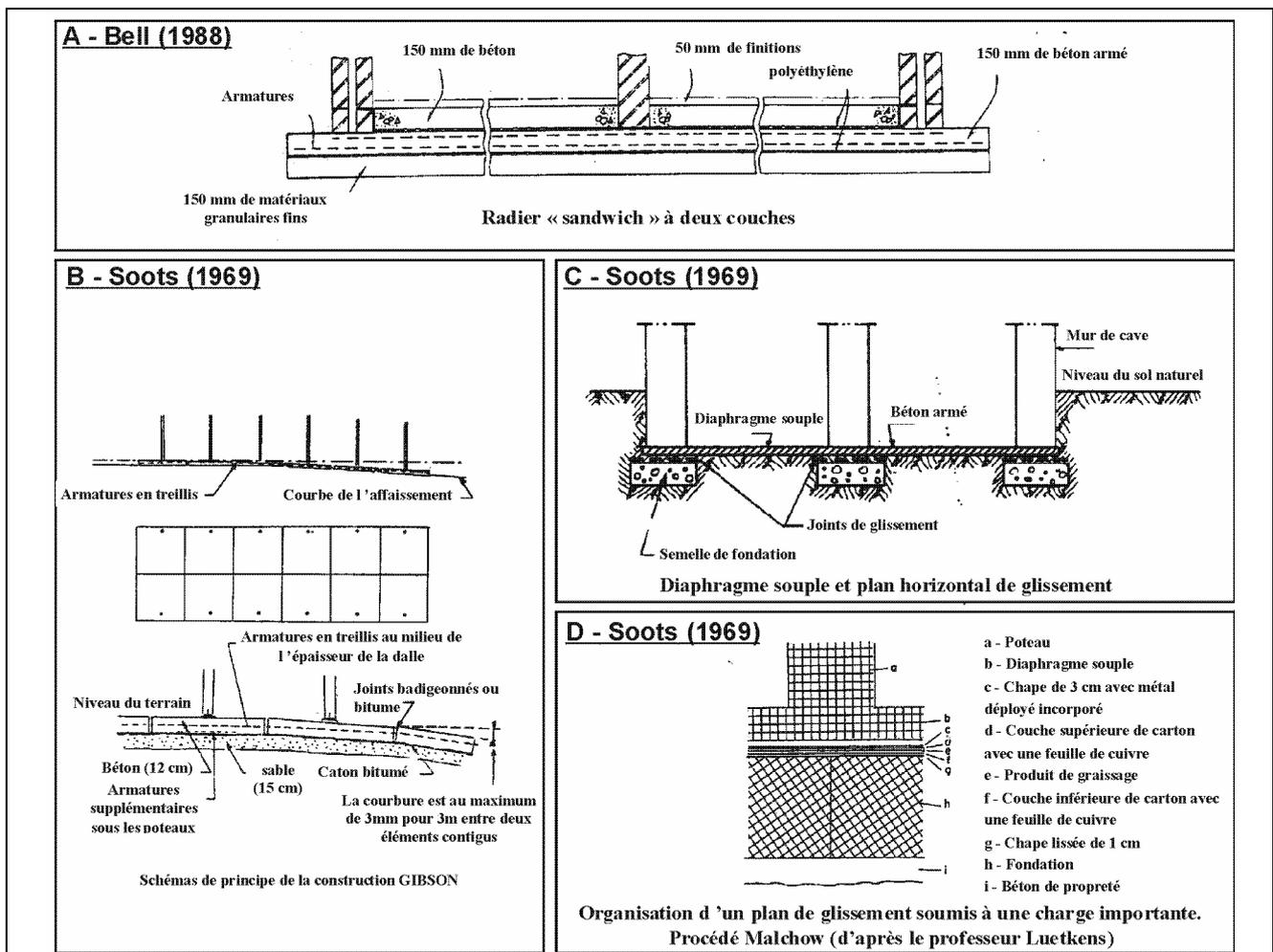
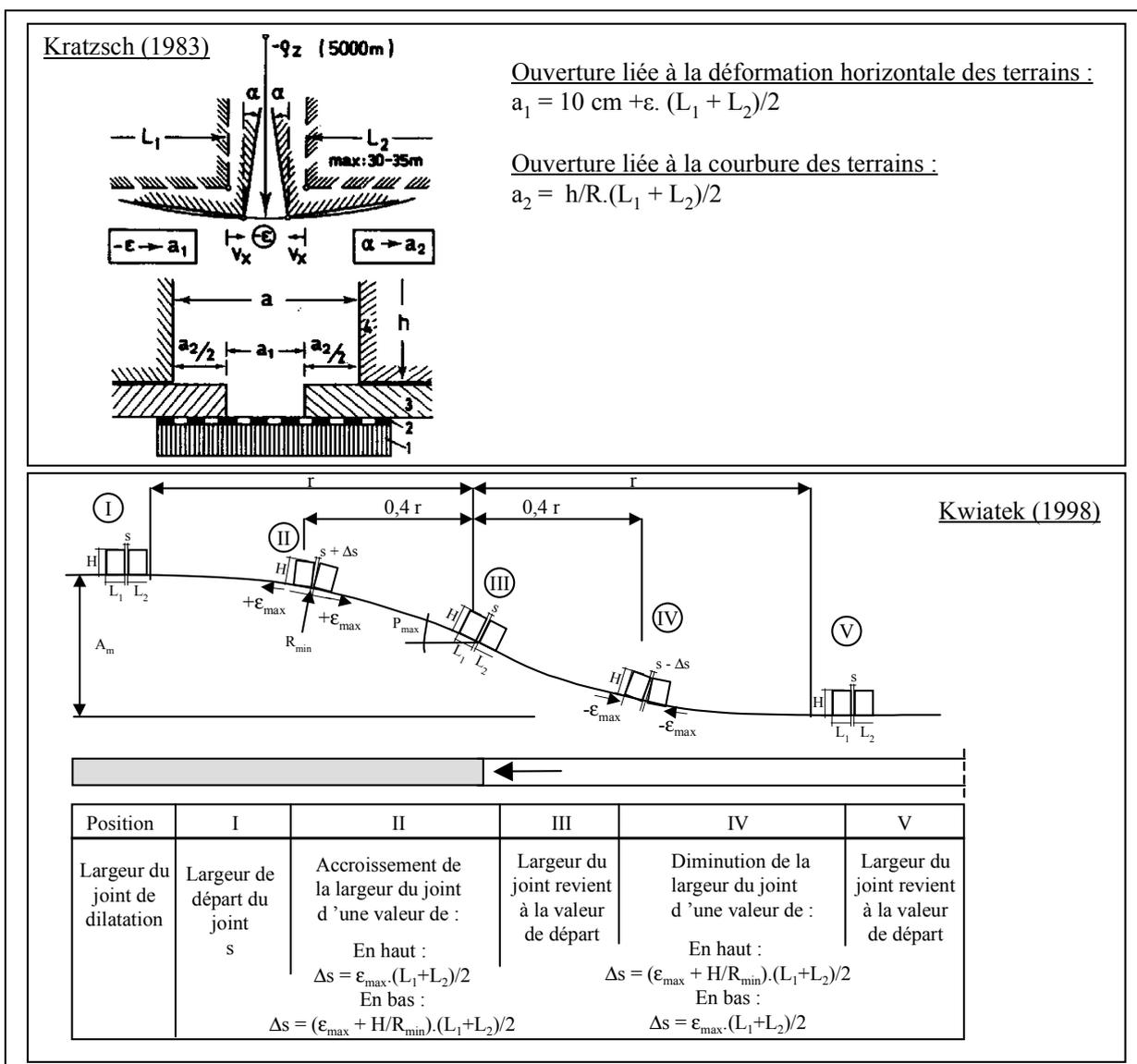


figure 1 : Réalisation d'un joint de glissement sous les fondations ou au-dessus.

2.5.2. Principes de conception de la superstructure :

- **Diviser la structure en modules élémentaires**

Pour permettre de construire une habitation d'une longueur supérieure aux limites en vigueur, il est nécessaire de la diviser en modules élémentaires séparés les uns des autres par des joints verticaux. D'une manière générale, pour des structures dont la forme en plan ne serait pas rectangulaire, il est conseillé de disposer des joints de désolidarisation verticaux afin de diviser l'ouvrage en modules rectangulaires. La désolidarisation doit être effective sur toute la hauteur de la construction et jusqu'aux fondations. Neuhaus (1969) et Kratzsch (1983) proposent un calcul de la largeur minimale séparant deux modules de bâtiments à partir du rapprochement théorique que vont subir les deux modules en fonction de la déformation du terrain et de l'inclinaison de la structure (figure 2).



- Assouplir la structure ou la superstructure :

L'objectif est de donner à la structure la souplesse nécessaire pour lui permettre de s'adapter aux mouvements des terrains ou aux mouvements transmis par les fondations. Cette mesure est souvent complémentaire de celle consistant à rigidifier les fondations, la superstructure n'ayant plus qu'à s'accommoder des mouvements résiduels. Le NCB (1975) a présenté un type de construction, qui a conservé l'appellation de CLASP et qui est constituée d'un radier peu épais, dont le rôle est de résister aux déformations horizontales des terrains, reposant sur une couche de matériaux friables et supportant une superstructure légère à ossature acier, avec des assemblages articulés pour augmenter sa souplesse et des éléments de contreventement élastiques qui permettent de résister aux efforts dus au vent tout en garantissant l'élasticité requise vis-à-vis des efforts liés à l'affaissement. Tous les habillages et remplissages sont réalisés de telle façon qu'ils puissent accepter des mouvements sans distorsion. La toiture et les planchers jouent le rôle de raidisseurs dans le plan horizontal afin de conserver la forme de la structure. Selon ICE (1977), entre 1956 et 1977, plus de 2000 constructions ont été bâties sur ce principe en Angleterre.

3. Comparatif avec les systèmes traditionnels en maçonnerie et béton

Outre les aspects purement structuraux, les systèmes constructifs alternatifs en bois et en acier se différencient du système traditionnel en maçonnerie et béton sur de nombreux sujets.

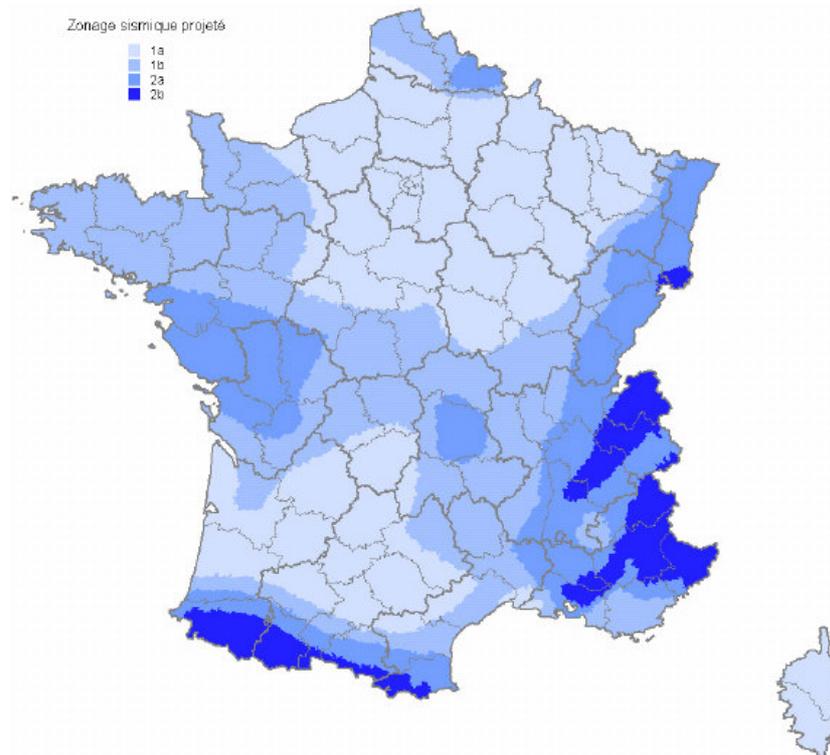
L'analyse comparative mettant en évidence les avantages et inconvénients de chaque système a porté sur les thèmes suivants :

- Satisfaction aux réglementations en vigueur
 - ☞ Stabilité au séisme
 - ☞ Résistance au feu
 - ☞ Réglementation thermique
 - ☞ Réglementation acoustique
- Diffusion des méthodes de dimensionnement, du savoir-faire et de la mise en œuvre
- Estimation des coûts.

3.1.Satisfaction aux réglementations en vigueur

3.1.1. Stabilité au séisme

Rappelons qu'actuellement, la Lorraine n'est pas concernée par les règles de construction parasismique. Un nouveau zonage, en cours d'élaboration, intégrera l'Est de la région comme zone sismique.



Au même titre que les ouvrages maçonneries, les ouvrages en ossature poteaux-poutres et à diaphragme en bois et acier sont traités dans les règles parasismiques dites PS 92 ainsi que dans les règles parasismiques simplifiées concernant les maisons individuelles et bâtiments assimilés (règles PS-MI 89).

Moyennant le respect de ces règlements, le comportement sous action sismique ces ouvrages en bois ou acier sont équivalents à celui des ouvrages traditionnels.

Par contre, les ouvrages en bois réalisés par empilage ne sont pas traités par ces règlements, et aucune évaluation du comportement en zone sismique n'a été trouvée. Le dimensionnement sous action sismique des ouvrages faisant appel à cette typologie ne peut donc être envisagée de manière simple, ce qui présente un inconvénient certain par rapport aux ouvrages maçonneries ou en béton.

3.1.2. Résistance au feu

La sécurité en cas d'incendie incombe à l'ossature calculée selon les règles en vigueur.

Du point de vue de la réglementation, les exigences requises pour les maisons d'habitation de première et de deuxième famille sont facilement atteintes.

Les exigences pour les bâtiments d'habitation collective sont plus sévères et ne peuvent être généralement atteinte qu'avec une protection rapportée sur les ossatures de type poteaux-poutres (bois ou acier).

De ce point de vue, le traitement de la sécurité en cas d'incendie des systèmes alternatifs est plus complexe que les systèmes traditionnels.

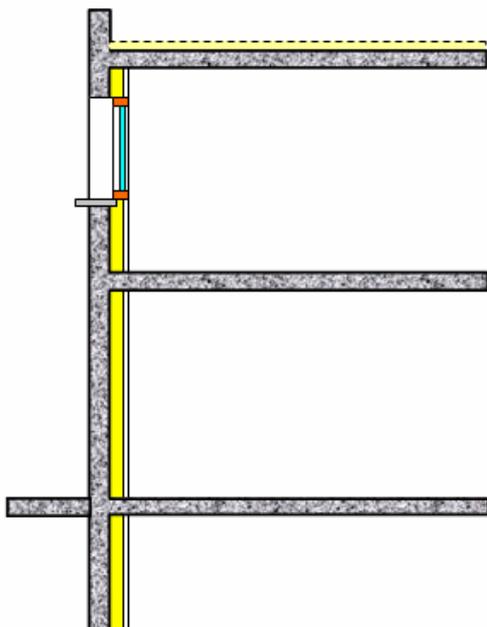
Dans la plupart des cas, les éléments porteurs poteaux et poutres sont protégés par des plaques de plâtre rapportées. Si cette technique permet de résoudre les problèmes des feux intérieurs, ils ne sont pas satisfaisant vis-à-vis des feux extérieurs. De ce fait, certains systèmes dont l'ossature est visible par l'extérieur peuvent ne pas satisfaire aux exigences réglementaires.

3.1.3. Réglementation thermique

La réglementation thermique est en constante évolution et tend à améliorer les performances thermiques de l'ensemble des produits enveloppes de la construction (fenêtre, toiture, nature des porteurs, traitement des liaisons des façades et des planchers, des balcons...). Cependant, les performances thermiques demandées sont estimées pour l'ouvrage dans sa globalité. L'étude thermique d'un ouvrage est donc complexe et l'estimation du système porteur ne préjuge en rien du résultat final. C'est pourquoi la description ci-après se contente d'appréhender les différents types de systèmes d'isolation sans pour autant évaluer la performance globale de l'ouvrage.

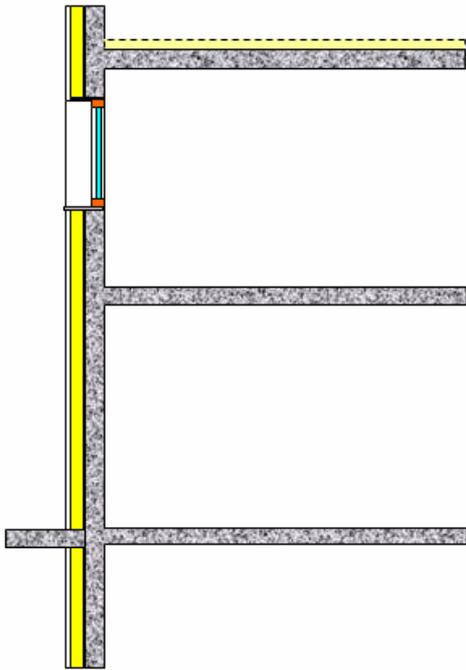
- L'isolation par l'intérieur

L'isolation des murs est réalisée côté intérieur. Il s'agit de doublages isolants comportant une couche isolante et un parement intérieur (plaque de plâtre ou briques). Ce système d'isolation présente l'avantage d'une mise en œuvre aisée, il est actuellement le plus répandu en France.



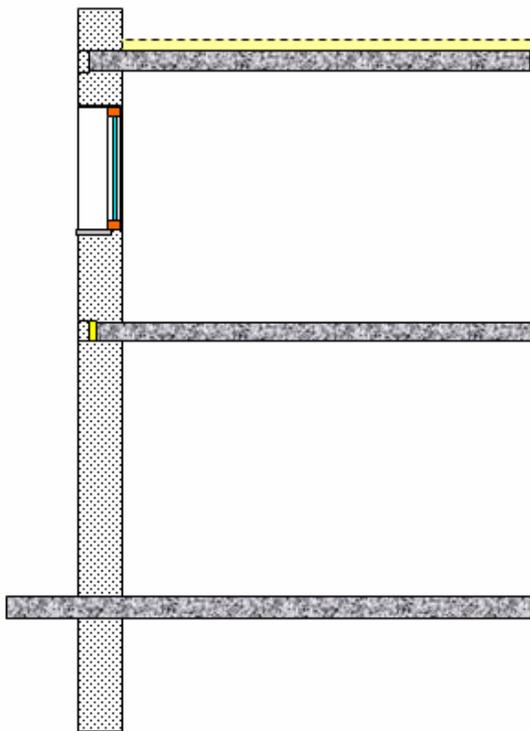
- L'isolation par l'extérieur

L'isolation des murs est réalisée côté extérieur. Elle est munie d'un parement pour la protéger des sollicitations climatiques. Ce système d'isolation est moins pratiqué en France que l'isolation par l'intérieur. Son principal créneau est le marché de la réhabilitation principalement des immeubles collectifs. Sa mise en œuvre fait appel à des entreprises spécialisées.



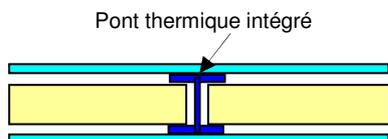
- **L'isolation répartie**

L'isolation des murs est réalisée par des éléments de maçonnerie isolante et porteuse de forte épaisseur (exemple : maçonnerie isolante en terre cuite ou en béton cellulaire). Ce système d'isolation vise essentiellement les maisons individuelles et les petits collectifs. Il est largement moins répandu que le système d'isolation par l'intérieur



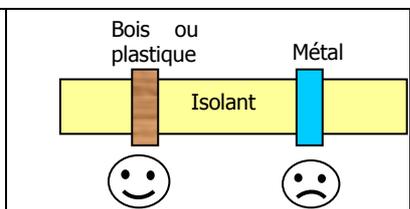
- **Traitement des ponts thermiques**

Ces ponts thermiques sont présents à l'intérieur de la paroi et sont souvent invisibles une fois les travaux d'isolation terminés. Leur prise en compte nécessite la connaissance de la paroi dans ses moindres détails techniques. Dans certains cas extrêmes ils sont susceptibles de doubler les déperditions de chaleur par la paroi.

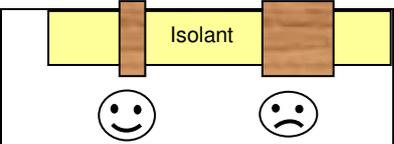


Ils sont également des passages privilégiés du froid à l'intérieur du bâtiment créant ainsi localement des zones plus froides sur la paroi intérieure. Ces zones attirent généralement les condensations superficielles et deviennent sources de pathologies. Les ponts thermiques intégrés sont étroitement liés au mode de fixation de l'isolation à la paroi et à la nature des matériaux mis en oeuvre.

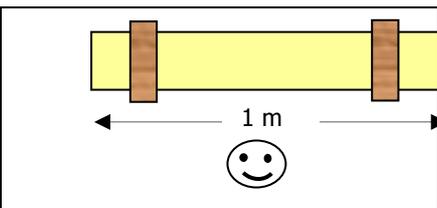
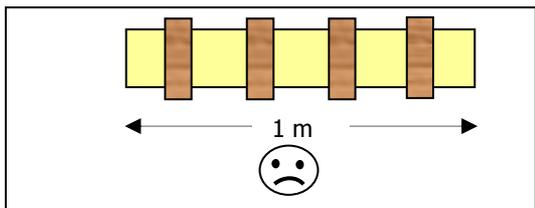
Une ossature bois traversant un isolant dégrade moins l'isolation qu'une ossature métallique de même dimension



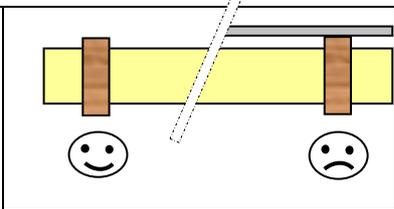
A matériaux identiques, une forte section est plus pénalisante qu'une petite section



L'incidence des ponts thermiques intégrés est directement proportionnelle à leur linéaire ou leur nombre par mètre carré de paroi.



Le contact entre les ossatures et les parements extérieur et/ou intérieur amplifie l'incidence du pont thermique intégré.



3.1.4. Réglementation acoustique

De part la nature des matériaux utilisés, les ouvrages maçonnés et en béton permettent de satisfaire facilement aux exigences de la réglementation acoustique. Il existe même pour ce type

d'ouvrage des guides de conception qui donnent les performances acoustiques des ouvrages les plus courants sans étude ni calculs particuliers.

En ce qui concerne les ouvrages à ossature bois ou acier, qu'ils soient utilisés en tant que murs ou planchers, les porteurs seuls ne permettent pas de satisfaire les exigences en vigueur entre logements dans les bâtiments d'habitation.

L'atteinte des critères d'isolation nécessite donc la mise en œuvre d'ouvrages complémentaires, par exemple

- pour les planchers, un plafond suspendu acoustique,
- pour les murs, un feutre de laine minérale associée à des plaques de plâtre.

3.2. Diffusion des méthodes de dimensionnement, du savoir-faire et de la mise en œuvre

Les règles de dimensionnement utilisées actuellement en France sont :

- pour le maçonnerie, le DTU 20.1,
- pour les ouvrages en bois, les règles CB 71,
- pour les ouvrages métallique, les règles CM 66.

Dans la cadre du marché européen, ces règles seront à terme remplacées par les Eurocodes (n° 3 pour l'acier, n° 5 pour le bois, et n° 6 pour la maçonnerie).

Tous ces règlements sont connus par la profession et ne posent pas de problème d'utilisation.

Sur l'ensemble des fiches analysées, certains procédés comportent des particularités qui ne permettent pas l'utilisation stricte des règles usuelles.

Il existe donc des règles propres à certains procédés (KLH par exemple), qui peuvent être diffusées par l'intermédiaire des Avis Techniques.

Il existe aussi des procédés ayant fait l'objet d'un Avis Technique (STYLTECH par exemple), mais pour lequel le dimensionnement est renvoyé au fabricant.

Dans le cas extrême, il n'existe pas de règles de dimensionnement clairement établi pour l'utilisation en France (procédé HONKA par exemple). La conception n'est alors envisagée exclusivement par le biais du fabricant.

En conclusion, la diffusion des règles de dimensionnements des ouvrages faisant appel aux modes constructifs alternatifs est de manière générale beaucoup plus restreinte que pour les ouvrages traditionnels.

Cette conclusion est particulièrement vraie pour les systèmes préfabriqués en usine et qui nécessitent peu d'intervention sur site.

3.3. Estimation des coûts.

Le coût global d'une construction est largement fonction de son aspect architectural. C'est pourquoi l'analyse des coûts des modes constructifs alternatifs ont montré une forte disparité de coût. Certaines tendances peuvent cependant être notées :

- les systèmes préfabriqués en usine sont compétitifs par rapport aux procédés traditionnels, voire moins coûteux.
- les procédés faisant appel au bois sont plus coûteux que les systèmes en acier et traditionnels, de l'ordre de 20 %.

Nous rappelons que cette estimation reste très générale, et que chaque ouvrage est un cas particulier qui doit être estimée en fonction des exigences réglementaires et des choix architecturaux.

Enfin, il n'a pas été possible de récolter des données satisfaisantes sur les surcoûts éventuels des ouvrages en cours d'exploitation tels que les gains sur la réduction de consommation d'énergie, ou sur le surcoût d'entretien des façades extérieures.

4. Résultats de l'étude

Pour chaque procédé étudié, la présentation des caractéristiques se trouve résumée dans les fiches de synthèse jointes en annexe.

De l'analyse de ces fiches, il en résulte que :

- la typologie du bâti retenues (maison individuelle et petit collectif) est adaptée aux modes constructifs alternatifs bois et acier, avec une large gamme de conception architecturale et technique,
- hormis les ouvrages à ossature métallique en profilés du commerce, la conception et la mise en œuvre des procédés sont fortement liées au savoir-faire des entreprises détentrices du procédé utilisé,
- le respect des réglementations acoustiques, thermiques, feu et parasismiques peuvent alourdir le coût des constructions bois ou acier et influencer les choix techniques, indépendamment des risques d'affaissements miniers,
- moyennant certaines prescriptions de conception, la vulnérabilité en zone d'affaissement progressif des ouvrages réalisés en modes constructifs alternatifs bois ou acier est a priori plus faible que celle des ouvrages en maçonnerie ou en béton.

Annexe 1

Fiche type pour le recensement des techniques constructives

Fiche x.doc		BOIS	ACIER	AUTRE
Nom de l'entreprise	Coordonnées			
	Documents mis à disposition			
	Type de contact			

2 ou 3 photos qui illustrent la technique présentée

Description
Description en une trentaine de lignes des principales caractéristiques de la technique présentée.

Informations réglementaires	
Avis technique	Existe-t'il des brevets, des avis techniques concernant la technique proposée

Données géométriques des bâtiments	
Longueur maximale	La technique proposée permet-elle de construire des bâtiments de n'importe quelles dimensions ? Quelles sont les dimensions standard ?
Largeur maximale	
Hauteur maximale	
Fenêtres	Quelles sont les dimensions standard, maximales, existe t'il des renforcements (type chaînages)
Trémies	Quelles sont les dimensions standard, existe t'il des renforcements (type chaînages)

Données Techniques pour le gros oeuvre	
Type d'ossature	Comment fonctionne la structure (poutres-poteaux, voiles...). Comment s'effectue la descente de charge, quelles sont les dimensions minimales ou maximales des espaces intérieurs...
Liaison entre éléments verticaux et horizontaux	Quelles liaisons entre les planchers et les murs. Par quoi peut-on les modéliser (encastrement, rotule...). Quelle est la solution technique pour réaliser la liaison.
Liaison avec les fondations	idem
Fondations	Quelles sont les fondations les plus appropriées (radier, semelles filantes, longrines...). Existe t'il un vide sanitaire ?
1 ^{er} plancher	Comment est réalisé le premier plancher ? Quelles sont ses liaisons avec le terrain et/ou les fondations.
Contreventement	Comment est assuré le contreventement
Possibilités de sous-sols	oui ou non ?

Données Techniques pour le second oeuvre	
Revêtements extérieurs	Existe t'il des prescriptions particulières, ou une technique « originale » pour des maisons individuelles ou du petit collectif (bardage métallique par exemple)
Cloisons et revêtements intérieurs	
Sols	
Plafonds	
Réseaux eau, gaz, électricité, chauffage	

Données Mécaniques	
Propriétés élastiques	Module de Young, Coefficient de Poisson
Masse volumique	Masse des éléments de structure, et poids moyen du bâtiment.
Résistances	

Références	
Réalisations	Quelques exemples
Expérience	
Publications	
Coût	Fourchette d'un coût global (coût au m ²) pour comparaison par rapport à des techniques plus classiques (maçonnerie)

Mouvements admissibles	
Tassements différentiels	Existe t'il des expériences ou des tests permettant de juger de la capacité de la structure à résister à des mouvements différentiels du terrain ?
Mise en pente	
Déformation	
Comportement en zone sismique	Existe t'il des expériences, modélisations ou retours d'expérience permettant d'apprécier le comportement de l'ouvrage en zone sismique ?

Détails	
Jonction d'angle mur-mur et mur-plancher	4 ou 5 schémas de principe permettant d'illustrer et de visualiser la technique ou le procédé constructif présenté.
Jonction au niveau des fondations en béton	
Détail des fondations	

Annexe 2

Fiches pour le recensement des techniques constructives bois et acier

Procédé	N° de fiche
SOCOPA	1
KLH	2
SANTNER	3
DOMESPACE	4
ABRI 2000	5
HONKA	6
DOREAN	7
SAPISOL	8
MODULAM	9
HOUOT	10
ALGECO	11
STYLTECH	12
LBH	13
CLASP	14
Maison PHENIX	15
Maison MEPAC	16
Maison CONCEPT	17
INVENTEAM	Référence Avis Technique 2/04-1110 fiche 18
DON REYNOLDS	Référence Avis Technique 2/03-1045 fiche 19
STRUCTAL 80	Référence Avis Technique 2/00-783 fiche 20