

UNIVERSITÉ D'ÉTÉ « ASSEMBLAGES »

organisée par
l'Association pour la Promotion de l'Enseignement de la Construction Acier (APK)
en partenariat avec
l'OTUA et le CTICM

Thème 3 - Choix des assemblages

INFLUENCE DES ASSEMBLAGES SUR LA CONCEPTION D'UNE STRUCTURE

par **Jean-Pierre JASPART**
Professeur adjoint
Université de Liège, Belgique

Lieu

ESITC - École Supérieure d'Ingénieur des Travaux de la Construction, Metz

Dates

les 27, 28 et 29 août 2001

Formation: Eurocode 3 "Assemblages"

Thème 3 : Approches de dimensionnement des ossatures

Sujet : Influence des assemblages sur la conception d'une structure

Auteur : Jean-Pierre JASPART

Partie 1: Approches de dimensionnement traditionnelles et modernes

Résumé:

- Les approches traditionnelles du dimensionnement des ossatures sont décrites brièvement:
 - modélisation en ossature continue avec assemblages rigides et/ou en ossature simple avec assemblages articulés,
 - méthode dite des "wind moments"
 - approche de "résistance partielle"
 - calcul rigide-plastique.
- L'approche moderne du dimensionnement des ossatures, c'est-à-dire la modélisation en structure semi-continue faisant appel à des assemblages semi-rigides, est ensuite esquissée; il est expliqué comment la distinguer des approches traditionnelles et les avantages potentiels (scientifiques et économiques) de son utilisation sont soulignés.
- Une méthode de dimensionnement cohérente est décrite, dans laquelle le comportement des assemblages est pris en compte dans l'analyse globale dès le départ. Il est montré comment modifier les approches de modélisations en structure simple ou en structure continue pour mieux respecter une méthode de calcul cohérente. Il est expliqué qu'une méthode de calcul cohérente peut prendre différentes formes qui dépendent des hypothèses prises pour le comportement des assemblages dans l'analyse globale, de l'intervenant responsable du dimensionnement des assemblages et/ou du degré de collaboration entre les parties concernées (concepteur et fabricant).
- Des pratiques de dimensionnement sont identifiées, qui montrent comment les tâches du calcul sont, ou peuvent être, partagées. Il est expliqué qu'une bonne compréhension du partage du calcul est essentielle pour modifier la pratique courante de sorte à permettre l'utilisation d'une méthode de calcul cohérente.

Objectifs:

Il convient que le lecteur:

- Comprenne les différentes approches du dimensionnement des ossatures, tant traditionnelle que moderne.
- Apprécie les avantages potentiels que présente l'utilisation d'une méthode de calcul cohérente prenant au mieux en compte le comportement des assemblages.
- Comprenne les conséquences que peut avoir le partage des tâches de calcul sur le dimensionnement subséquent.
- Sache comment mettre en pratique une méthode de calcul cohérente.

Thème 3 - Choix des assemblages

Sujet - Influence des assemblages sur la conception d'une structure

Partie 1 - Approches de dimensionnement traditionnelles et modernes

Références:

- [1] Anderson, D., Reading, S.J., *The Wind-moment design for unbraced frames*, publication SCI P-082, 1991.
- [2] Anderson D., Colson A., Jaspart J.-P., *Connection and frame design for economy*, publication ECCS/TC10 N°. 1991 (également publié dans un certain nombre de revues nationales).
- [3] Maquoi, R., Chabrolin B., *Calcul des ossatures incluant le comportement des joints*, Rapport EUR 18563 EN, ECSC/Commission Européenne, 1998.
- [4] ENV 1993-1-1: Calcul des Structures en Acier : Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments.

1 Approches traditionnelles du dimensionnement

1.1 Approche par assemblages articulés-rigides

Jusqu'à présent, la pratique usuelle du calcul des structures de bâtiments impliquait les étapes successives suivantes:

- modélisation de l'ossature incluant le choix d'assemblages rigides ou articulés
- dimensionnement initial des poutres et poteaux
- puis, pour chaque combinaison à l'état limite ultime (ELU) et à l'état limite de service (ELS) :
 - évaluation des sollicitations (effets des charges)
 - vérification des critères d'ELU et d'ELS
- itération, le cas échéant, sur les dimensions d'éléments jusqu'à satisfaction de toutes les vérifications.
- à l'étape satisfaisante finale à l'issue des itérations précédentes:
 - calcul des assemblages pour qu'ils résistent aux efforts appropriés transmis par les éléments conformément aux hypothèses initiales (modélisation de l'ossature) concernant la rigidité des assemblages.

Cette approche est donnée sous forme d'organigramme dans la Figure 1. Etant donné que les assemblages sont considérés soit comme articulés (modélisation simple- on suppose qu'aucun moment n'est transmis) soit comme rigides (modélisation continue- (rigide) avec transmission des moments), leur dimensionnement définitif devient une tâche distincte de celle du dimensionnement des éléments. Elle est souvent accomplie lors d'une étape postérieure au processus de calcul global par d'autres personnes (habituellement par le constructeur).

5.2.2.2
5.2.2.3

Cette approche convient aux ossatures classifiées comme rigides contreventées où on considère que la plupart des assemblages poutres-poteaux ne transmettent pas de moments. D'autres assemblages faisant partie d'un système de contreventement peuvent être rigides et posséder une résistance élevée.

L'utilisation d'assemblages transmettant des moments dans des ossatures d'une hauteur quelconque ou de nombre d'étages quelconques peut souvent constituer une alternative économique au cas où seul un contreventement doit assurer la stabilité latérale. Parce que les hauteurs des planchers sont réduites, le volume global du bâtiment pour une surface de plancher donnée est moindre. L'élimination du contreventement donne une plus grande liberté d'utilisation et aboutit à des conceptions dont l'esthétique est agréable. Pour les bâtiments à plusieurs étages de moyenne ou de grande hauteur, il est souvent nécessaire d'avoir des assemblages poutres-poteaux reprenant les moments, de sorte à obtenir une surface de plancher de bureaux dégagée pouvant être rapidement réorganisée à moindre coût. Cependant, considérer ces assemblages comme rigides peut ne pas être la solution la plus économique, et il convient d'étudier l'alternative d'assemblages semi-rigides.

L'exemple le plus courant d'ossature en acier dans laquelle sont utilisés des assemblages poutres-poteaux rigides supportant les moments est le bâtiment industriel à ossature de portique à un seul étage avec des traverses brisées. Tout en conservant l'assemblage dans la classification de "assemblage rigide", le calcul selon l'Eurocode 3 Partie 1-1 permet l'utilisation d'assemblages moins coûteux que ceux habituellement adoptés. Des dimensionnement plus économiques, comparés à ceux de la pratique courante, devraient normalement être possibles.

Annexe J

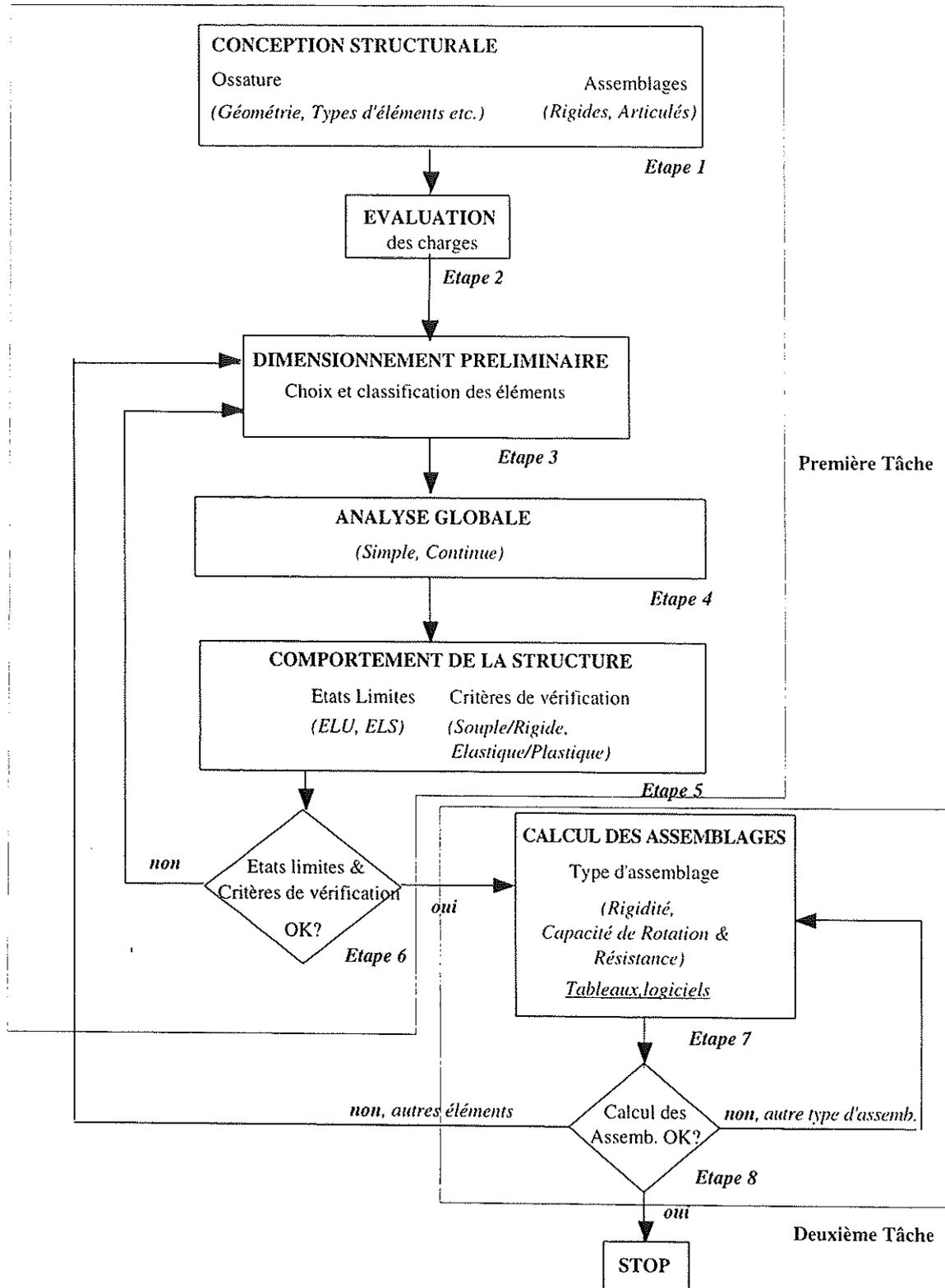


Figure 1 : Méthode de calcul traditionnelle d'une ossature en acier ayant des assemblages rigides et/ou articulés.

1.2 Méthode des “ wind moments ”

Dans cette méthode [1], on suppose que les assemblages poutres-poteaux transmettent des moments nuls pour les cas de charges verticales mais transmettent des moments non nuls lorsque l'on considère les charges de vent. Elle présente l'avantage de permettre l'utilisation d'assemblages de poutres sur semelles de poteaux assez simples. La méthode de calcul entre bien dans l'organigramme de l'approche articulée-rigide traditionnelle.

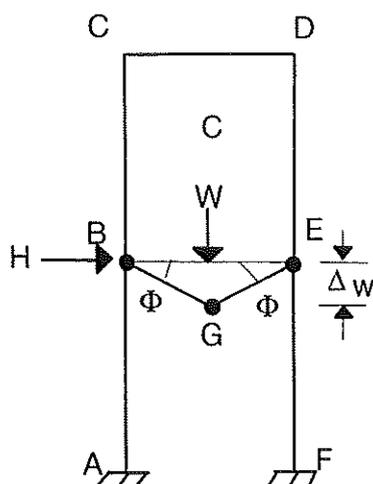
Ce qui est intéressant dans cette approche est qu'elle constitue un moyen, assez simple toutefois, de prendre en compte la rigidité réelle et la capacité de résistance aux moment inhérente, faibles toutefois, de l'assemblage. Cependant, la mesure dans laquelle la méthode peut être adoptée dans le contexte de l'application de l'EC3 n'apparaît pas clairement. Les détails des assemblages doivent être soigneusement choisis pour que les hypothèses prises sur leur comportement soient effectivement valables au regard des exigences de l'Eurocode Partie 1-1.

1.3 Assemblages poutre-poteau à résistance partielle

Bien qu'elle ne constitue pas une approche très traditionnelle, comme l'approche des moments de vent, elle a déjà trouvé certaines applications dans l'industrie [2]. Cette approche entre dans la décomposition traditionnelle en tâches de calcul comme indiqué dans la Figure 1.

Dans ce cas, on évite les difficultés liées au calcul d'un assemblage avec une rigidité et un moment résistant exigés. Ces difficultés constituent un problème qui se pose régulièrement entre le constructeur et le concepteur pour les structures calculées en supposant des assemblages rigides.

Habituellement utilisée pour le calcul des planchers d'ossatures rigides contreventées, cette méthode implique l'adoption d'assemblages poutre-poteau ductiles à résistance partielle. La poutre est calculée sur la base d'un mécanisme simple avec deux rotules plastiques aux assemblages et une troisième rotule plastique à la mi-travée de la poutre. La Figure 2 montre un exemple du mécanisme de poutre.



Mécanisme de poutre

Figure 2: Application de l'approche de résistance partielle

Des poutres de plancher économiques de hauteur réduite, par rapport aux poutres calculées par l'hypothèse habituelle d'assemblages articulés, peuvent être proposées. Etant donné que les moments de calcul des assemblages sont habituellement choisis comme inférieurs à 40% du moment résistant plastique de la poutre assemblée, on peut utiliser des types d'assemblages

économiques, en général du type à platine d'extrémité boulonnée sans boulons extérieurs.

La méthode de calcul est très simple et rapide à utiliser.

L'approche de "résistance partielle", comme la méthode des "wind moments", peut aussi être considérée comme une application particulière de l'approche semi-rigide où l'accent est mis non pas sur la rigidité de flexion mais sur le choix d'assemblages qui possèdent des résistances à la flexion faibles ou modérées, et qui sont ductiles.

1.4 Calcul Rigide-Plastique

Etant donné que cette méthode est encore peu utilisée dans de nombreux pays, elle ne peut être considérée comme traditionnelle que pour un certain nombre de concepteurs. Néanmoins, elle est utilisée maintenant depuis un certain temps pour le calcul de la structure en acier la plus répandue, le portique à un seul niveau.

5.2.1.4

Cette approche a été décrite de façon plus détaillée dans le module 2 "Analyse et calcul des ossatures". La méthode des "assemblages à résistance partielle" destinée aux structures à ossature rectangulaire en constitue une variante simple.

Cette méthode peut être appliquée à certains types d'ossatures souples, bien que la plupart des concepteurs ont tendance à son utilisation aux ossatures souples d'un seul niveau.

5.2.6.3

Elle est très utilisée au Royaume-Uni pour le calcul des portiques industriels. Dans ces ossatures, les rotules plastiques ne se forment pas dans les assemblages des traverses car on utilise des jarrets et le chargement est tel que la rotule plastique dans la traverse n'est pas au faitage.

Son utilisation pour d'autres types de bâtiments semble rare, bien que l'approche de "résistance partielle" ait été utilisée pour le calcul d'ossatures à plusieurs étages. L'exigence d'utilisation de sections transversales de classe 1 ou de classe 2 constitue probablement l'obstacle majeur à une application plus répandue.

2. Approche moderne du calcul des ossatures

Il est à présent bien admis que le fait de supposer des assemblages rigides ou articulés peut n'être ni précis ni économique. Le simple fait qu'un assemblage ait une résistance suffisante ne signifie pas qu'il ait une rigidité suffisante pour qu'il soit raisonnable de le modéliser comme rigide. De nombreux assemblages, souvent supposés rigides, montrent un comportement intermédiaire entre les états "rigide" et "articulé". L'Eurocode 3 Partie 1-1 a pris cela en compte et, de ce fait, a ouvert la voie à ce que l'on connaît à présent sous le terme "approche semi-rigide" (cf Figure 3).

5.2.2.4.

Dans l'approche semi-rigide, le comportement des assemblages est pris en compte dès le départ, c'est-à-dire que lorsque les composants sont dimensionnés lors de l'étape de calcul préliminaire, ce dimensionnement prend également en compte le comportement des assemblages. L'analyse globale initiale comprend une estimation approchée des caractéristiques des assemblages (rigidité, résistance et capacité de rotation), qui peut être affinée ultérieurement, comme les dimensions des éléments, dans l'analyse finale. L'assemblage est habituellement représenté sous forme d'un ressort de rotation situé à l'extrémité de l'élément (en général la poutre) qui caractérise le comportement de l'assemblage. Les modèles existants ne peuvent représenter que la caractéristique moment-rotation, ce qui est suffisant pour la majorité des assemblages structuraux des ossatures.

Annexe J

Les méthodes de calcul informatique modernes, et l'équipement sur lequel elles sont installées, sont particulièrement adaptées à cette approche car, avec de tels outils, la répétition d'une

analyse sur une structure modifiée est très rapide.

Lorsqu'un modèle réaliste d'assemblages est inclus dans l'analyse globale, outre que cela donne une meilleure appréciation du comportement réel, il y a des raisons de penser que l'on peut obtenir un dimensionnement plus économique pour de nombreuses structures typiques [2]. Une part considérable du coût d'une structure en acier concerne la fabrication, dont la fabrication de l'assemblage lui-même représente une grande partie. Sans simplification excessive, on peut dire que plus important est le moment qu'un assemblage doit supporter, plus élevés sont les coûts de matériaux et de main d'oeuvre de fabrication et de montage. Etant donné que le calcul semi-rigide autorise des moments plus faibles dans les assemblages, il peut entraîner aisément des économies susceptibles de compenser les surcoûts représentés par l'accroissement éventuel des dimensions des éléments destiné à éviter les flèches excessives.

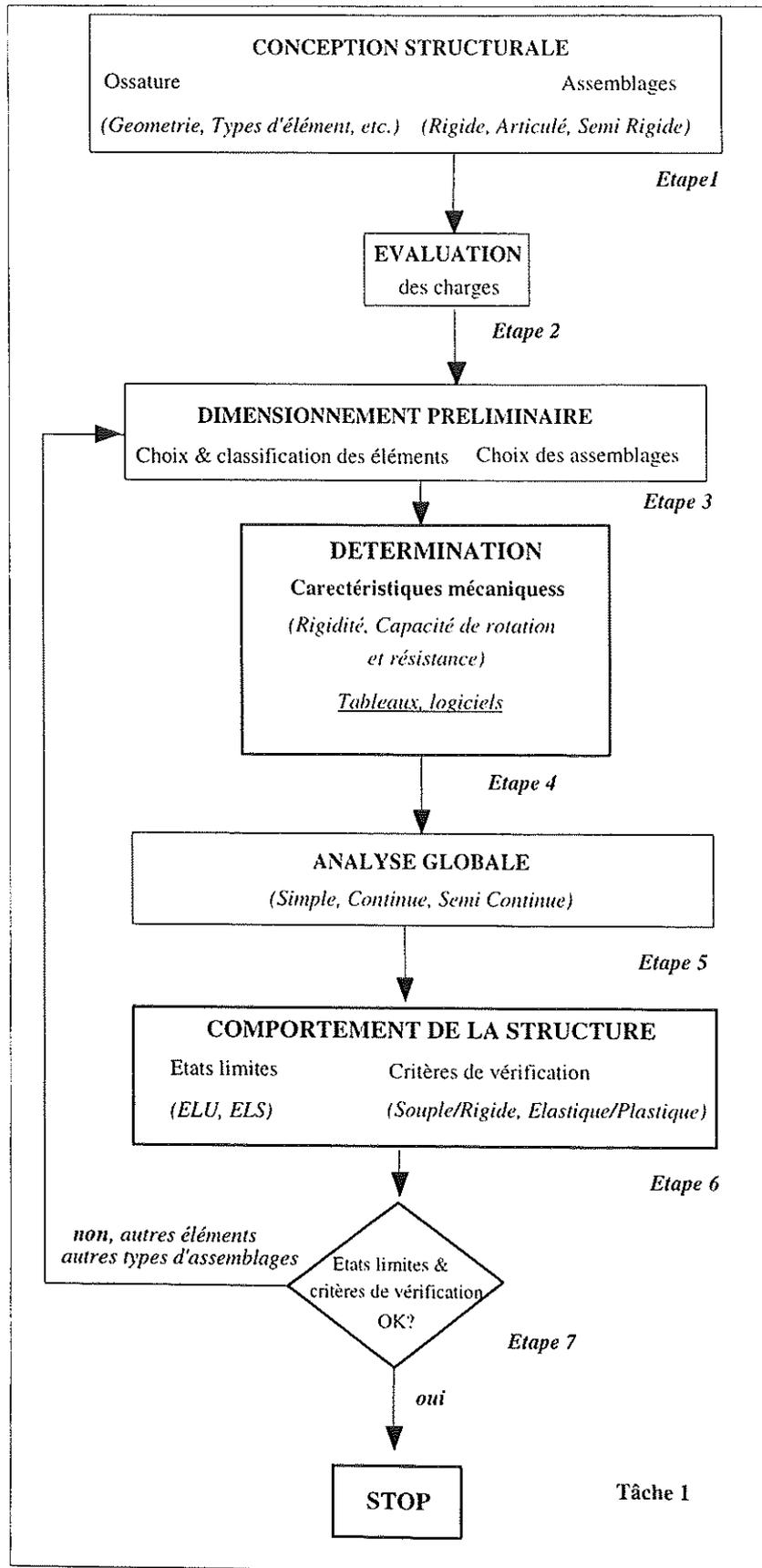


Figure 3: Méthode d'analyse cohérente avec le comportement des assemblages

Toutefois, étant donné que cette approche ne permet plus de dimensionner les assemblages séparément, elle exige une modification du partage des tâches de calcul entre les parties. Souvent, le dimensionnement définitif des assemblages est effectué par le constructeur sur la base d'une structure préalablement calculée et analysée par un ingénieur-conseil. Même si une bonne communication avec le constructeur et son implication le plus tôt possible sont essentielles, l'utilisation de l'approche par "meilleure estimation" peut constituer un outil utile d'estimation de la rigidité des assemblages pour guider le concepteur vers un dimensionnement satisfaisant (cf. référence [3] et cours 8 "Application pratique des approches de calcul modernes").

3 Méthode de calcul cohérente

La méthode de calcul des ossatures utilisant une analyse globale cohérente avec le comportement des assemblages (Figure 3) présente quelques différences par rapport à la méthode traditionnelle, comme indiqué dans la Figure 1.

Les principales différences sont les suivantes:

- **Conception structurale:** Le comportement mécanique des assemblages est modélisé dans l'analyse globale.
- **Pré-dimensionnement:** Dans la phase de dimensionnement préliminaire, le concepteur choisit un assemblage sur la base de son expérience. Ce choix donne les dimensions fondamentales des composants de l'assemblage: platines d'extrémité ou cornières, emplacements des boulons, nombre et diamètre des boulons, dimensions des semelles des poteaux et des poutres, épaisseur et hauteur de l'âme des poteaux, etc.
- **Détermination des caractéristiques mécaniques:** A l'étape 4 de la Figure 3, on détermine le comportement mécanique complet des assemblages et éléments choisis. La caractérisation de l'assemblage est habituellement simplifiée en un comportement linéaire ou bi-linéaire.

Il est évident que cette méthode n'est applicable que lorsque les éléments et les assemblages sont dimensionnés par une seule des parties, car les propriétés mécaniques de l'assemblage sont nécessaires dans l'analyse de l'ossature.

Etant donné que dans cette méthode on peut prendre en compte un type quelconque de comportement d'assemblage, elle est applicable lorsque l'on souhaite utiliser des assemblages dits "semi-rigides". En fait, presque tous les assemblages typiques utilisés dans des structures d'ossatures sont semi-rigides dans une certaine mesure, bien que certains puissent être considérés comme articulés et d'autres considérés comme rigides.

Il est rappelé que le terme "semi-rigide" se rapporte à la rigidité d'un assemblage. Dans le cas d'assemblages rigides (modélisation en structure continue), étant donné que la rigidité de l'assemblage est supposée infinie, l'analyse globale de l'ossature donne les mêmes rotations pour les poutres et les poteaux au niveau de leurs noeuds d'assemblage.

5.2.2.3

Dans le cas d'assemblages semi-rigides (modélisation en structure semi-continue), les poutres et les poteaux ont des rotations différentes au niveau de leurs noeuds d'assemblage (cf. cours 5 "Classification des ossatures et représentation des assemblages"). Il est rappelé que, lorsque l'on utilise le modèle de ressort pour un assemblage dans l'analyse globale, la différence obtenue entre la rotation d'un poteau et celle d'une poutre qui lui est assemblée est égale à la rotation se produisant dans l'assemblage qui les assemble.

5.2.2.4

La méthode donnée dans la Figure 3 peut également être appliquée lorsque les assemblages sont considérés comme articulés (modélisation en structure simple) ou rigides (modélisation en structure continue). Dans le cas d'assemblages rigides et/ou articulés, l'inclusion des caractéristiques des assemblages dans l'analyse d'ossature globale est évidemment plus simple que dans le cas d'assemblages semi-rigides, car il est inutile de déterminer les caractéristiques des assemblages pour la modélisation..

5.2.2.2

3.1 Formes intermédiaires d'approches

Les deux approches de calcul données ci-dessus, c'est-à-dire la méthode destinée aux assemblages articulés ou rigides et la méthode destinée aux assemblages semi-rigides respectivement, sont en réalité deux extrêmes. Des formes intermédiaires de ces approches peuvent être utilisées. Par exemple, la méthode donnée dans la Figure 1 peut également être appliquée pour le calcul semi-rigide. Dans ce cas, au cours de la première phase de la méthode de calcul, les assemblages sont supposés avoir un comportement rigide ou articulé. Puis, dans la deuxième phase (après l'étape 8) les caractéristiques "réelles" de l'assemblage sont incluses dans l'analyse d'ossature globale. L'analyse d'ossature est effectuée en prenant en compte les caractéristiques "réelles" de tous les composants, c'est-à-dire des poutres et des poteaux mais aussi des assemblages. Le calcul devient alors similaire à celui indiqué dans la Figure 3.

4 Pratique du calcul et ses implications

En pratique, le travail de calcul peut être effectué par une ou deux parties:

- par la combinaison d'un bureau d'étude (ingénieur) et d'un fabricant (constructeur),
- par un bureau d'étude uniquement,
- par un constructeur (fabricant/concepteur) uniquement.

Le Tableau 1 montre le partage des tâches pour le dimensionnement et la fabrication dans ces trois cas fondamentaux.

Rôle	Cas A	Cas B1	Cas B2
Dimensionnement des éléments	Ingénieur	Ingénieur	Constructeur
Dimensionnement des assemblages	Constructeur	Ingénieur	Constructeur
Fabrication	Constructeur	Constructeur	Constructeur

Tableau 1 : Parties et rôles dans les opérations de dimensionnement et de fabrication d'une structure en acier

L'objectif du dimensionnement est de concevoir une structure satisfaisant des exigences architecturales, sûre, apte au service et durable pour des coûts minimum de fabrication, montage, protection et entretien. En outre, les parties impliquées dans le calcul ont un intérêt économique à limiter les coûts du travail de calcul lui-même.

Cas A

Dans le cas A, un ingénieur dimensionne les éléments et le fabricant dimensionne les assemblages. Dans ce cas, l'ingénieur spécifie les exigences mécaniques des assemblages et le constructeur conçoit les assemblages de façon à satisfaire ces exigences. Le constructeur prend également en compte les aspects concernant la fabrication. Cependant, en raison du fait que l'ingénieur spécifie les exigences mécaniques des assemblages, la solution trouvée par le constructeur peut être non-optimale. Le calcul dépend essentiellement des dimensions de poutres et de poteaux choisies par l'ingénieur. L'ingénieur peut décider de choisir des dimensions de poutres et de poteaux minimales avec pour conséquence la nécessité de raidir les assemblages pour satisfaire les exigences de résistance et d'aptitude au service. Lorsque l'ingénieur décide de choisir des dimensions de poutres supérieures, par exemple, les assemblages peuvent être simplifiés et la structure dans son ensemble peut s'avérer plus économique, cf. Figure 4.

Cas B1

Dans le cas B1, l'ingénieur dimensionne les éléments et les assemblages. Ceci offre la possibilité d'inclure les propriétés mécaniques des assemblages dans l'analyse globale et dans le dimensionnement des éléments, et permet par conséquent une optimisation du coût global de la structure. Toutefois, l'ingénieur ne possède normalement qu'une connaissance limitée des aspects concernant la réalisation (machines disponibles, matériaux en stock, espacement des boulons, accessibilité pour le soudage, etc.), ce qui peut entraîner une augmentation des coûts de fabrication. L'efficacité de cette méthode peut être améliorée par des consultations opportunes du constructeur et par l'expérience des concepteurs.

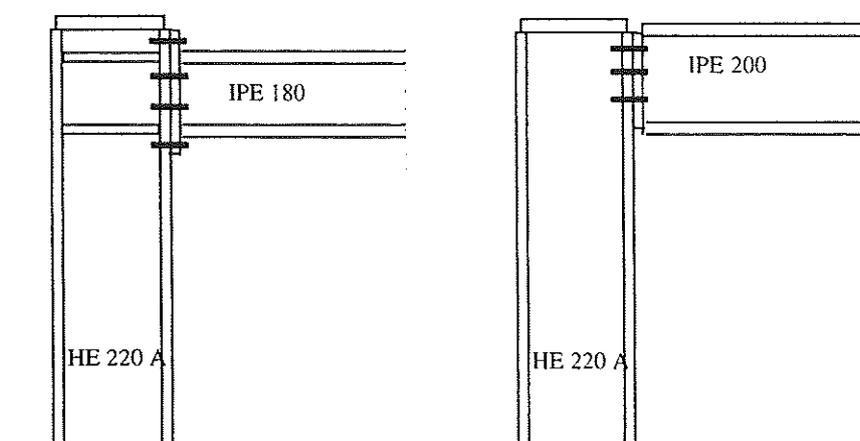


Figure 4 Deux solutions, coûts différents

Cas B2

Le cas B2 est idéal d'un point de vue économique, car le dimensionnement des éléments et des assemblages est de la responsabilité d'une seule partie, le constructeur, qui connaît bien la fabrication et les implications qu'a chaque type de disposition constructive d'assemblage sur le coût de réalisation.

Pour le calcul des ossatures en acier, un concepteur peut choisir les différentes approches de calcul suivantes:

1. Adoption d'une méthode de dimensionnement traditionnelle avec assemblages rigides et articulés. Dans cette méthode, on dimensionne les éléments d'abord, puis les assemblages sont dimensionnés en conséquence.
Cette méthode est applicable à tous les cas (A, B1 et B2) et elle est courante dans la plupart des pays européens.
2. Adoption d'une méthode de dimensionnement cohérente intégrant les dispositions constructives des assemblages et leur modélisation.
3. Adoption d'une méthode dans laquelle les éléments et les assemblages sont dimensionnés soit par la même partie (cas B1 et B2), ou faisant appel à une collaboration entre les parties (formes intermédiaires).

Pour l'application des approches ci-dessus, on peut utiliser une analyse globale élastique ou élastique-plastique de l'ossature.

Références

[1] Anderson, D., Reading, S.J., *The Wind-moment design for unbraced frames*, publication SCI P-082, 1991.

[2] Anderson D., Colson A., Jaspard J.-P., *Connection and frame design for economy*, publication ECCS/TC10 N°, 1991 (également publié dans un certain nombre de revues nationales).

[3] Maquoi, R., Chabrolin B., *Calcul des ossatures incluant le comportement des joints*, Rapport EUR 18563 EN, ECSC/Commission Européenne, 1998.

[4] ENV 1993-1-1: Calcul des Structures en Acier : Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments.

Résumé

Les approches traditionnelles du dimensionnement des ossatures sont décrites brièvement:

- modélisation en ossature continue avec assemblages rigides et/ou en ossature simple avec assemblages articulés,
 - méthode dite des "wind moments"
 - approche de "résistance partielle"
 - calcul rigide-plastique.
- L'approche moderne du dimensionnement des ossatures, c'est-à-dire la modélisation en structure semi-continue faisant appel à des assemblages semi-rigides, est ensuite esquissée; il est expliqué comment la distinguer des approches traditionnelles et les avantages potentiels (scientifiques et économiques) de son utilisation sont soulignés.
 - Une méthode de dimensionnement cohérente est décrite, dans laquelle le comportement des assemblages est pris en compte dans l'analyse globale dès le départ. Il est montré comment modifier les approches de modélisations en structure simple ou en structure continue pour mieux respecter une méthode de dimensionnement cohérente. Il est expliqué qu'une méthode de dimensionnement cohérente peut prendre différentes formes qui dépendent des hypothèses prises pour le comportement des assemblages dans l'analyse globale, de qui est en charge du dimensionnement des assemblages et/ou du degré de collaboration entre les parties concernées (concepteur et constructeur).
 - Des pratiques de calcul sont identifiées, qui montrent comment les tâches du calcul sont, ou peuvent être, partagées. Il est expliqué qu'une bonne compréhension du partage des tâches du calcul est essentielle pour modifier la pratique courante de sorte à permettre l'utilisation d'une méthode de dimensionnement cohérente.

Formation: Eurocode 3 "Assemblages"

Thème 3 : Choix des assemblages

Sujet : Influence des assemblages sur la conception d'une structure

Auteur : Jean-Pierre JASPART

Partie 2 : Application pratique des approches modernes de dimensionnement

Résumé:

- Des stratégies de dimensionnement sont présentées pour permettre d'adapter aisément les approches traditionnelles et de prendre en compte la semi-continuité des assemblages.
- Des méthodes de dimensionnement élastique et rigide-plastique peuvent être utilisées.
- Les approches présentées visent à éviter l'utilisation d'assemblages complexes (coûteux) tout en prenant pleinement en compte le comportement des assemblages dès le départ du processus de calcul.
- Des tableaux sont donnés, qui permettent d'obtenir de bonnes estimations de la rigidité des assemblages (pour le calcul élastique) et de la résistance des assemblages (pour le calcul rigide-plastique à résistance partielle) en vue de l'analyse globale.
- Dans une de ces stratégies, on utilise le fait qu'avec des assemblages semi-rigides, on peut effectuer un dimensionnement satisfaisant avec des valeurs de rigidités d'assemblage approchées qui peuvent être assez éloignées des valeurs réelles.

Objectifs:

Il convient que le lecteur:

- Comprenne l'insuffisance des approches de dimensionnement traditionnelles à prendre en compte le comportement réel des assemblages.
- Comprenne que l'Eurocode 3 Partie 1-1 permet de nouvelles approches de dimensionnement des ossatures.
- Soit capable d'utiliser les outils pratiques donnés pour le calcul des ossatures.
- Soit conscient que les approches traditionnelles peuvent ne pas être les plus efficaces pour obtenir des dimensionnements de bâtiments économiques, et que de nouvelles approches sont faciles à intégrer dans la pratique courante.

Références:

- [1] Steenhuis M., Gresnigt N., *Predesign of semi-rigid joints in steel frames*, Workshop 1994 – COST C1, Ed., Wald F., Proceedings of the state of the art, Prague, pp 131-140, 1995.
- [2] Maquoi, R., Chabrolin B. et al., *Calcul des ossatures incluant le comportement des assemblages*, Rapport EUR 18563 EN, ECSC/Commission Européenne, 1998.
- [3] ENV 1993-1-1: Calcul des Structures en Acier : Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments.

1 Introduction : méthodologie et stratégie de dimensionnement

La stratégie de dimensionnement suivie par le concepteur est d'importance vitale sur le plan de l'efficacité. Une bonne stratégie conduit normalement à des solutions économiques tant pour les éléments que pour les assemblages.

Dans le cours 7 "Approches de dimensionnement traditionnelles et modernes", plusieurs approches de dimensionnement ont été brièvement décrites. L'approche traditionnelle de dimensionnement reflète la pratique courante dans laquelle les assemblages sont modélisés comme simples (articulés) ou continus (rigides) et où, en outre, le calcul des assemblages est effectué séparément (à la suite de l'analyse globale et du calcul des éléments). Dans une approche plus cohérente, l'analyse globale d'ossature est effectuée en prenant dûment en compte le comportement des assemblages dès le départ.

Lorsque les assemblages sont semi-continus (semi-rigides et/ou à résistance partielle), l'approche traditionnelle de dimensionnement peut être utilisée, mais uniquement de façon itérative, afin d'intégrer le comportement des assemblages dans l'analyse globale finale. De toute évidence, il est préférable qu'un seul intervenant soit en charge de la totalité du processus de calcul. Toutefois, avec l'approche traditionnelle, il faut surmonter la difficulté suivante. Les caractéristiques réelles des assemblages dépendent des dispositions constructives et du dimensionnement des assemblages, tâches habituellement exécutées par le constructeur. L'ingénieur effectuant l'analyse et le dimensionnement des éléments doit obtenir les informations nécessaires concernant les assemblages avant de procéder à l'analyse globale finale de l'ossature. Une telle utilisation de l'approche traditionnelle de dimensionnement n'est ni très efficace ni très facile dans la pratique courante.

Pour ces raisons, l'objectif principal est ici de donner des stratégies convenant au dimensionnement des ossatures comportant des assemblages semi-continus (semi-rigides et/ou à résistance partielle), mais pouvant être aisément intégrées dans une approche de dimensionnement traditionnelle modifiée. Trois stratégies sont présentées, qui prennent tout de même en compte l'exécution de deux tâches séparées, à savoir le dimensionnement des éléments d'ossature d'une part et le dimensionnement final des assemblages d'autre part, comme dans l'approche de dimensionnement traditionnelle. L'objectif principal est l'efficacité tout en intégrant une prise en compte de la semi-continuité lors de l'exécution de l'analyse globale.

Les trois stratégies suivantes sont proposées:

- Utilisation d'une *estimation au mieux* pour les rigidités des assemblages à utiliser dans une analyse globale élastique de l'ossature.
- Utilisation d'un *coefficient d'encastrement* dans l'approche traditionnelle de dimensionnement.
- Calcul des ossatures rigides contreventées au moyen d'une analyse rigide-plastique spécifique.

Les deux premières stratégies sont particulièrement applicables lorsqu'on utilise une analyse élastique, bien qu'il soit également possible de les utiliser lorsque l'on adopte une analyse globale élastique-plastique. Elles concernent principalement les ossatures non-contreventées mais elles peuvent aussi être appliquées pour le calcul des ossatures contreventées.

La troisième stratégie se limite à un seul type d'analyse plastique d'ossature, son utilisation

n'étant recommandée que pour les ossatures contreventées rigides.

2 Utilisation d'une estimation au mieux de la rigidité des assemblages

Cette stratégie fait référence à l'approche traditionnelle de dimensionnement (cf cours 6 - Figure 1). Cependant, deux modifications sont nécessaires pour la rendre utilisable pour le calcul d'une ossature semi-continue (Figure 1).

1) Prise en compte de la rigidité des assemblages dans une analyse globale:

Dans l'Etape 3, on utilise une **estimation au mieux** pour la rigidité initiale des assemblages. Dans la pratique courante, l'estimation approximative suppose que les assemblages sont rigides (ou articulés). Il est donné un tableau pour obtenir une **estimation au mieux** des rigidités initiales des assemblages plutôt que de supposer que les assemblages soient rigides (ou articulés). Cette "estimation au mieux" est basée sur les propriétés des poutres et poteaux ainsi que sur le type des assemblages. Il convient d'utiliser les rigidités des assemblages ainsi obtenues directement pour l'analyse globale élastique (Etape 4) lorsque le concepteur à l'intention d'effectuer des vérifications élastiques des assemblages et des éléments. Il convient de la diviser par un facteur η approprié lorsque l'on prévoit d'effectuer des vérifications plastiques (cf module 5 "Assemblages").

Annexe J

2) Vérification de la rigidité de calcul des assemblages:

Dans l'Etape 8 de la Figure 1, on doit vérifier que la rigidité réelle d'un assemblage quelconque est raisonnablement conforme à la rigidité approchée introduite initialement dans l'analyse globale élastique de l'ossature. Ceci remplace les vérifications de la classification des assemblages comme rigides et/ou articulés dans le calcul traditionnel. Certaines règles visant à permettre cette vérification sont données ci-dessous: leur philosophie est très semblable aux diagrammes de l'Eurocode 3, Partie 1-1 pour la classification des assemblages. Ces règles peuvent être appliquées aisément lorsqu'on utilise un logiciel d'analyse globale.

Annexe J

3 Prévision simple de la rigidité initiale d'un assemblage

Lors de la phase de pré-dimensionnement de l'ossature, il est nécessaire de procéder à une évaluation préliminaire des rigidités des assemblages (restant encore à dimensionner). Pour ce faire, certaines formules simplifiées ont été mises au point à partir de l'Eurocode 3- Annexe J (révisée). Grâce à ces formules, le concepteur peut procéder à des estimations raisonnables des rigidités des assemblages en considérant la configuration des assemblages uniquement.

Annexe J

Bien entendu, ces formules sont basées sur certains choix concernant les dispositions constructives des assemblages usuels utilisés dans les ossatures. Le choix de ces paramètres, qui concernent l'épaisseur des platines, le diamètre des boulons, les positions des boulons par exemple, n'est pas détaillé ici [1].

La valeur approchée $S_{j,app}$ de la rigidité initiale d'assemblage s'exprime par :

$$S_{j,app} = \frac{Ez^2 t_{fc}}{C}$$

où les valeurs du facteur C sont données dans le Tableau 1 pour différentes configurations (types de chargement) d'assemblages usuels. Ces valeurs de la rigidité initiale d'assemblage n'impliquent que deux paramètres: z et t_{fc} ; z représente la distance entre les résultantes des forces de compression et de traction dans l'assemblage et t_{fc} est l'épaisseur de semelle du poteau.

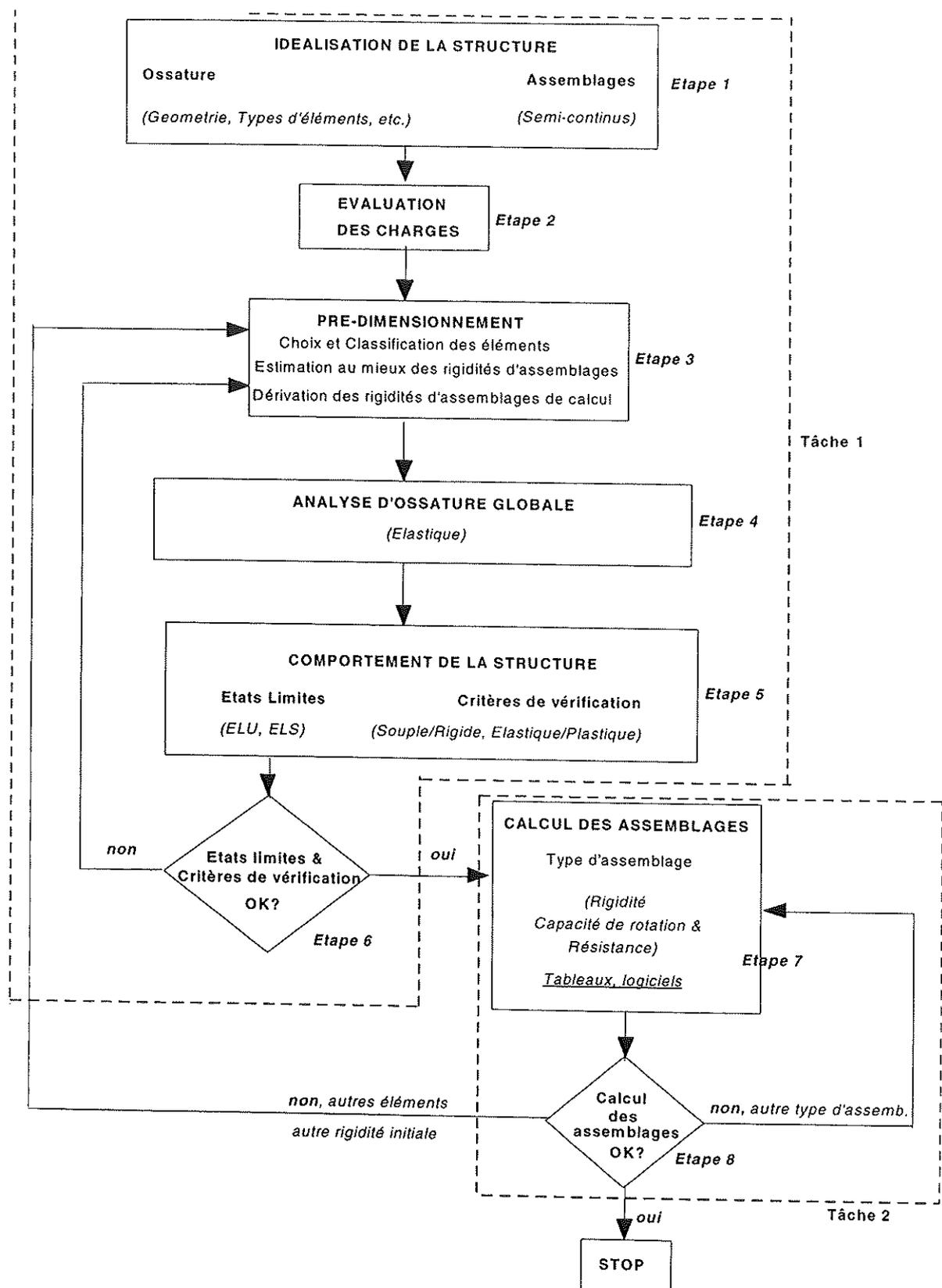
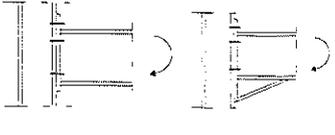
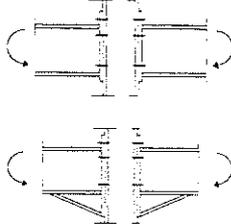
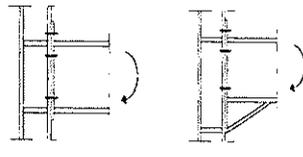
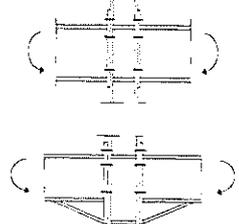
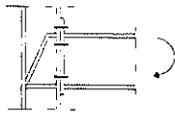
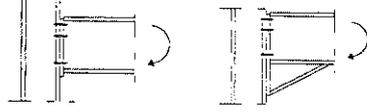
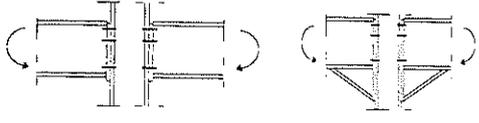
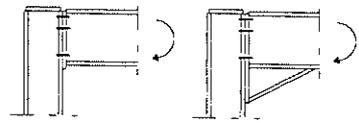


Figure 1: Stratégie de dimensionnement prenant en compte des assemblages semi-continus (analyse globale élastique)

Thème 3 - Choix des assemblages

Sujet - Influence des assemblages sur la conception d'une structure

Partie 2 - Application pratique des approches modernes de dimensionnement

Configuration d'Assemblage		C
Platine d'extrémité avec boulons extérieurs, Poutre d'un seul côté, Poteau non raidi ($\beta=1$)		13
Platine d'extrémité avec boulons extérieurs, Poutre des deux côtés, Poteau non raidi, Chargement symétrique ($\beta=0$)		7.5
Platine d'extrémité avec boulons extérieurs, Poutre d'un seul côté, Poteau raidi en traction et en compression ($\beta=1$)		8.5
Platine d'extrémité avec boulons extérieurs, Poutre des deux côtés Poteau raidi en traction et en compression Chargement symétrique ($\beta=0$)		3
Platine d'extrémité avec boulons extérieurs, Poutre d'un seul côté, Poteau avec raidisseur de <i>Morris</i> ($\beta=1$)		3
Platine d'extrémité sans boulons extérieurs, Poutre d'un seul côté ($\beta=1$)		14
Platine d'extrémité sans boulons extérieurs, Poutre des deux côtés, Chargement symétrique ($\beta=0$)		9.5
Platine d'extrémité sans boulons extérieurs, Poutre d'un seul côté, Platine en tête de poteau ($\beta=1$)		11.5

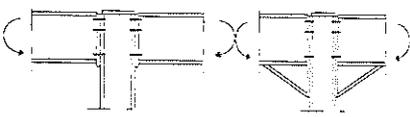
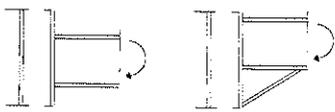
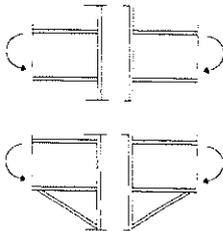
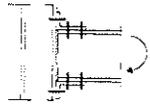
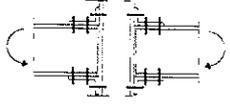
Platine d'extrémité sans boulons extérieurs, Poutre des deux côtés, Platine en tête de poteau, Chargement symétrique ($\beta=0$)		6
Assemblage soudé, Poutre d'un seul côté, Poteau non raidi ($\beta=1$)		11.5
Assemblages soudés, Poutre des deux côtés, Poteau non raidi, Chargement symétrique ($\beta=0$)		6
Cornières de semelle, Poutre d'un seul côté Poteau non raidi ($\beta=1$)		70
Cornières de semelle ; Poutre des deux côtés, Poteau non raidi Chargement symétrique ($\beta=0$)		65
<p><u>Note:</u> Pour les rares cas de configurations d'assemblages bilatérales où $\beta=2$ (chargement antisymétrique ou moments <i>non équilibrés</i>), la valeur du facteur C est prise égale à celle pour le cas d'un chargement symétrique (moments <i>équilibrés avec $\beta=0$</i>) majorée de 11.</p>		

Tableau 1: Estimation au mieux de la rigidité initiale pour des configurations typiques d'assemblages poutre-poteau

Dans un assemblage par platine d'extrémité avec boulons extérieurs comportant deux files de boulons, la distance z est approximativement égale à la hauteur de la poutre. Pour le même assemblage comportant un jarret, z est égal à la somme de la hauteur de poutre et de la hauteur du jarret. L'Annexe J donne un tableau de valeurs approchées recommandées pour la valeur de ce bras de levier.

4 Rigidité d'assemblage requise

L'Eurocode 3 offre au concepteur deux diagrammes permettant d'effectuer la classification des assemblages en fonction de leur rigidité (articulés, semi-rigides, rigides): un pour les ossatures contreventées et un pour les ossatures non contreventées.

En conséquence, pour les ossatures contreventées, un assemblage peut être considéré comme rigide si sa rigidité initiale réelle satisfait la condition :

Figure 6.9.8

$$S_{j.ini} \geq \frac{8EI_b}{L_b}$$

6.9.6.2
 Figure 6.9.8

Cette condition garantit que la flexibilité réelle des assemblages n'entraîne pas une baisse de plus de 5% de la résistance ultime de l'ossature (par rapport au cas des assemblages de rigidité infinie). L'acceptation d'une baisse de cette importance permet l'analyse globale d'ossature avec une valeur infinie (plutôt que finie) des rigidités des assemblages. Ici, le terme *rigidité initiale réelle* désigne la meilleure valeur qu'un concepteur puisse obtenir pour la rigidité initiale d'un assemblage particulier. C'est-à-dire, par exemple, la valeur obtenue à partir d'expériences, par simulations numériques ou calculée sur la base de l'*Eurocode 3- Annexe J(révisée)*.

6.4.2.2(2)
 Annexe J

Pour vérifier qu'un assemblage peut être considéré comme rigide, une procédure en trois étapes est nécessaire (cf Figure 2) :

- *Etape a* : analyse globale de l'ossature conduite en prenant pour hypothèse des assemblages rigides (Etape 3 de la Figure 1).
- *Etape b* : détermine la plage admissible où devrait se situer la rigidité initiale réelle (dans l'Etape 8 de la Figure 1).
- *Etape c* : vérification que la rigidité initiale réelle de l'assemblage choisi se situe bien dans cette plage admissible (dans l'Etape 8 de la Figure 1).

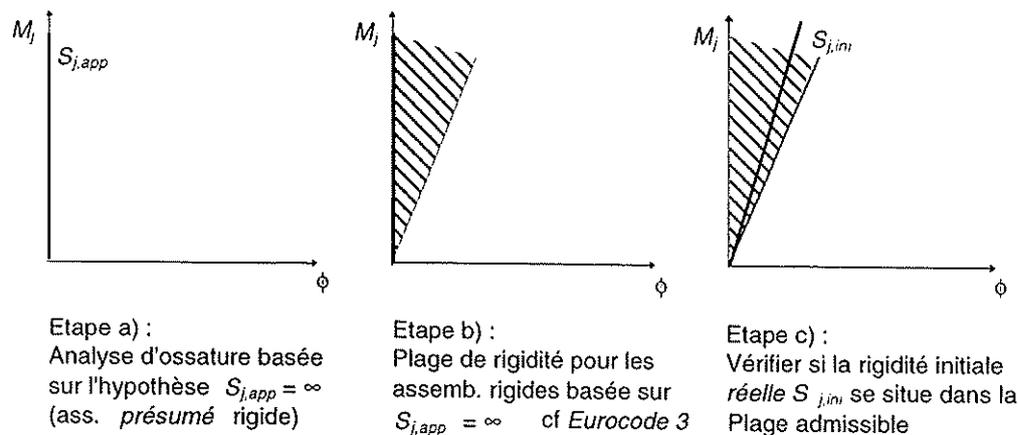
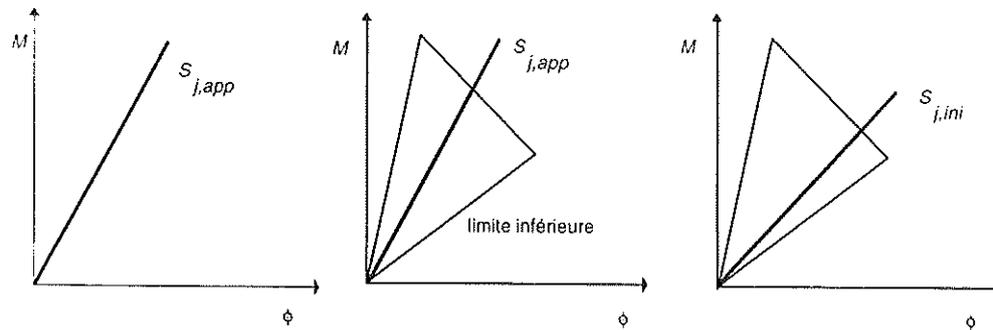


Figure 2: Vérification de l'exigence de rigidité d'un assemblage rigide

Ce concept peut être généralisé pour vérifier si une différence entre la rigidité approchée et la rigidité réelle d'assemblages semi-rigides a une influence significative sur le comportement de l'ossature (Figure 3). Les formules données dans le Tableau 2 déterminent, en fonction de la rigidité approchée utilisée, la plage dans laquelle la rigidité initiale réelle doit se situer. On peut admettre que, lorsque ce critère est satisfait, l'effet néfaste sur la capacité portante de l'ossature d'une différence éventuelle entre ces deux rigidités n'est pas supérieur à 5%.

On peut voir que la valeur de la rigidité peut varier dans une plage importante entre une rigidité minimale et une rigidité maximale, ce qui est l'un des aspects intéressants du comportement des assemblages semi-rigides. Cela donne également au constructeur une plus grande liberté de choix pour une disposition constructive satisfaisante, respectant à la fois les exigences du concepteur (résistance et rigidité) ainsi que ses propres exigences (contraintes de fabrication aisée et économique).



Etape a): Ingénieur
 Analyse globale basée sur une rigidité de calcul dérivée de $S_{j,app}$

Etape b): Constructeur
 Plage de rigidités pour assemb. semi-rigides basée sur $S_{j,app}$

Etape c): Constructeur
 Vérification que la rigidité initiale réelle $S_{j,ini}$ est dans la plage admise

Figure 3: Vérification d'exigence de rigidité d'un assemblage semi-rigide

Ossature	Limite inférieure	Limite supérieure
Contreventée	$S_{j,ini} \geq \frac{8S_{j,app}E I_b}{10E I_b + S_{j,app}L_b}$	Si $S_{j,ini} \leq \frac{8E I_b}{L_b}$ alors $S_{j,ini} \leq \frac{10S_{j,app}E I_b}{8E I_b - S_{j,app}L_b}$ sinon $S_{j,ini} \leq \infty$
Non contreventée	$S_{j,ini} \geq \frac{24S_{j,app}E I_b}{30E I_b + S_{j,app}L_b}$	Si $S_{j,ini} \leq \frac{24E I_b}{L_b}$ alors $S_{j,ini} \leq \frac{30S_{j,app}E I_b}{24E I_b - S_{j,app}L_b}$ sinon $S_{j,ini} \leq \infty$
où: $S_{j,app}$ = rigidité approchée d'assemblage (estimation au mieux de la rigidité initiale) $S_{j,ini}$ = rigidité initiale réelle d'assemblage E = module d'Young L_b = longueur de travée de la poutre I_b = moment d'inertie de flexion de la section transversale de la poutre		
* Pour des raisons de simplicité, la limite de rigidité (rigide/semi-rigide) de l'Eurocode 3 est modifiée: au lieu de $S_j \geq \frac{25E I_b}{L_b}$ on a adopté $S_j \geq \frac{24E I_b}{L_b}$ pour les ossatures non contreventées.		

Tableau 2: Plage de variation admissible de la rigidité initiale réelle en fonction de la rigidité approchée de l'assemblage

5 Utilisation du concept de coefficient d'encastrement (approche de dimensionnement traditionnelle)

Une autre stratégie pour un dimensionnement préliminaire consiste à utiliser ce que l'on appelle le *coefficient d'encastrement* f lors de l'évaluation de la rigidité approchée d'un assemblage. Le coefficient d'encastrement f est défini comme la rotation ϕ_b de l'extrémité de la poutre (bi-articulée) provoquée par un moment d'extrémité unitaire appliqué sur cette extrémité, divisé par la rotation correspondante ϕ_i de la poutre plus celle de l'assemblage.

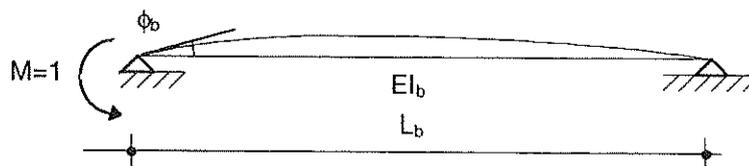


Figure 4: Rotation d'extrémité de poutre

La rotation d'extrémité de la poutre pour un moment unitaire (cf Figure 4) est la suivante:

$$\phi_b = \frac{L_b}{3EI_b}$$

La rotation de la poutre plus celle de l'assemblage pour ce moment est la suivante :

$$\phi_i = \frac{L_b}{3EI_b} + \frac{1}{S_j}$$

d'où l'on obtient le coefficient d'encastrement :

$$f = \frac{\phi_b}{\phi_i} = \frac{1}{1 + 1,5\alpha}$$

où les symboles E , L_b , I_b et S_j sont définis dans le Tableau 2 et :

$$\alpha = \frac{2EI_b}{L_b S_j}$$

Pour un assemblage *réellement articulé*, f est égal à 0, tandis que pour un assemblage *réellement rigide* f est égal à 1.

Pour accélérer la convergence vers une solution, le concepteur peut décider d'adopter un coefficient d'encastrement entre 0 et 1 et de commencer l'analyse globale en conséquence.

Les valeurs recommandées sont $0,1 \leq f \leq 0,6$ pour les ossatures contreventées et $0,7 \leq f \leq 0,9$ pour les ossatures non contreventées. Pour une valeur choisie du coefficient d'encastrement, la rigidité d'assemblage à utiliser pour l'analyse globale est donnée par la relation suivante :

$$S_j = \frac{3EI_b}{L_b} \left[\frac{f}{1-f} \right]$$

Par exemple,

-lorsque l'on prend $f = 0,5$ pour les ossatures contreventées; il convient alors d'adopter une rigidité d'assemblage de $3 EI_b/L_b$ dans l'analyse d'ossature globale,

-et lorsque l'on prend $f = 0,8$ pour les ossatures non contreventées, la valeur correspondante de la rigidité d'assemblage est $12 EI_b/L_b$.

Ayant choisi le coefficient d'encastrement, la valeur de rigidité d'assemblage correspondante peut être considérée comme une "estimation au mieux" dans la méthode de calcul de la Figure 1. On doit vérifier que cette estimation au mieux est raisonnablement conforme à la rigidité initiale réelle de l'assemblage. Pour cette vérification, en général, on utilise le Tableau 2.

Les valeurs limites du Tableau 3 sont ainsi obtenues lorsque l'on adopte un coefficient d'encastrement $f = 0,5$ pour les ossatures contreventées ou $f = 0,8$ pour les ossatures non contreventées.

Ossature	Limite inférieure	Limite supérieure
Contreventée ($f = 0,5$) $S_{j,app} = \frac{3EI_b}{L_b}$	$S_{j,ini} \geq \frac{24EI_b}{13L_b}$	$S_{j,ini} \leq \frac{6EI_b}{L_b}$
Non contreventée ($f = 0,8$) $S_{j,app} = \frac{12EI_b}{L_b}$	$S_{j,ini} \geq \frac{48EI_b}{7L_b}$	$S_{j,ini} \leq \frac{30EI_b}{L_b}$
où: $S_{j,app}$ = rigidité approchée utilisée pour l'analyse globale d'ossature $S_{j,ini}$ = rigidité initiale réelle E = module d'Young L_b = longueur de poutre I_b = moment d'inertie de flexion de la section transversale de poutre		

Tableau 3: Plages de variation admissible de la rigidité initiale réelle correspondant aux coefficients d'encastrement spécifiques

6 Dimensionnement d'ossatures rigides avec une analyse globale rigide-plastique

Comme les stratégies décrites ci-dessus mettent l'accent uniquement sur la rigidité d'assemblage, elles conviennent particulièrement pour une analyse globale élastique. Lorsque l'on fait appel au calcul plastique, qui convient particulièrement au dimensionnement des ossatures rigides contreventées, la résistance des assemblages est également critique pour l'analyse globale.

Pour cette raison, une stratégie différente est nécessaire (cf Figure 5). Dans la première étape, on calcule l'ossature en prenant pour hypothèse des assemblages poutre-poteau articulés. Dans la seconde étape, on réduit la section de poutre en prenant le profil en dessous du profil requis pour la poutre considérée bi-articulée. Par conséquent, tous les assemblages de poutres doivent transmettre un certain moment fléchissant. Si ce moment est faible, des assemblages simples à résistance partielle sont suffisants. Cette stratégie met particulièrement l'accent sur l'économie de l'ossature: on suppose que les économies de matériaux compensent largement le supplément de coût généré par l'utilisation d'assemblages à résistance partielle. Au cas où ces assemblages à résistance partielle auraient besoin d'être renforcés et raidis, on pourra revenir en arrière en augmentant la section de la poutre.

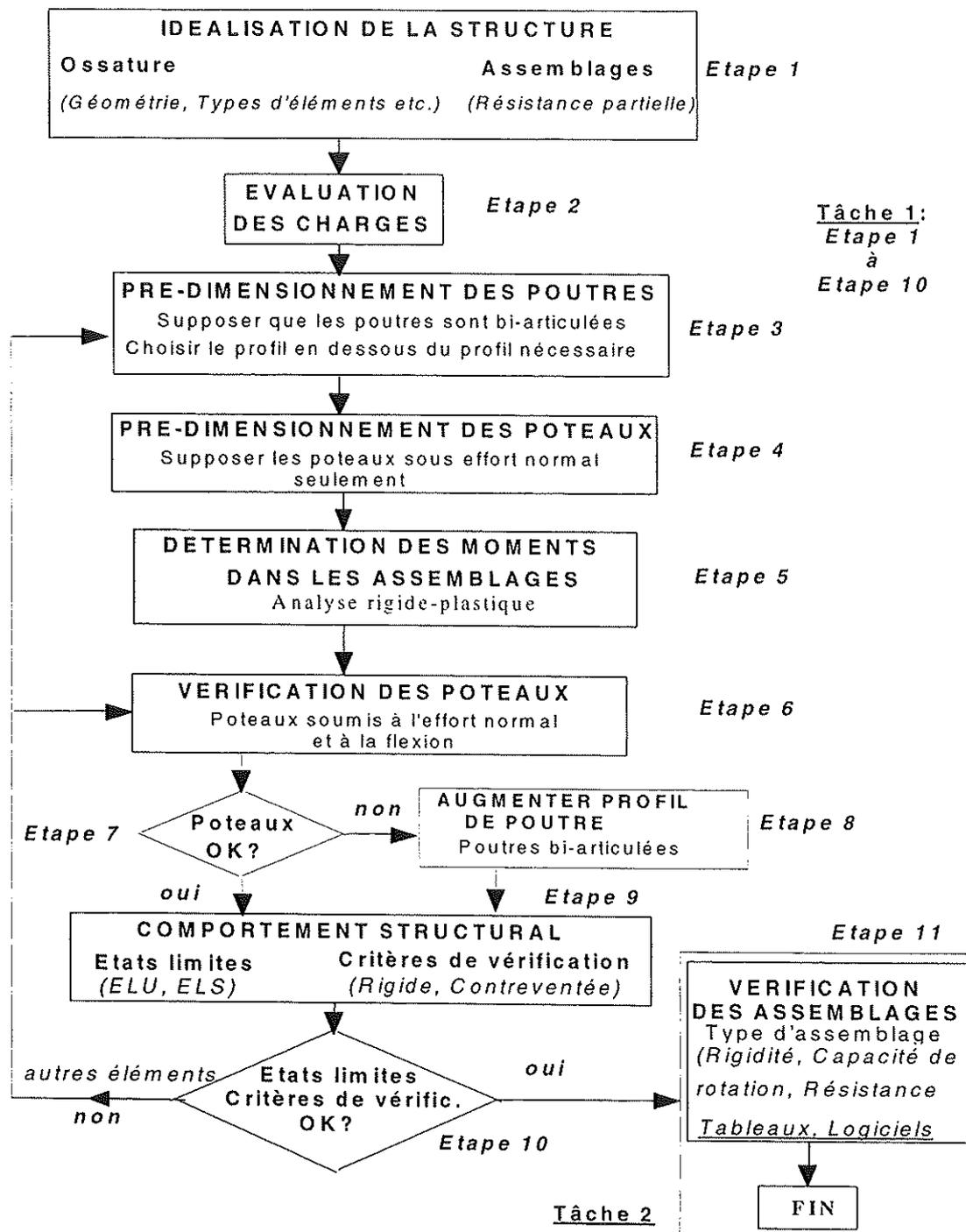


Figure 5 : Stratégie de dimensionnement pour les assemblages à résistance partielle dans les ossatures rigides contreventées

La stratégie de dimensionnement est conduite de la façon suivante:

Étapes 1/2: Très semblables à celles de la stratégie décrite dans la Figure 1.

Étape 3: Dimensionner d'abord les poutres en supposant qu'elles comportent des assemblages articulés aux extrémités (condition d'appuis simples). On choisit un profil de poutre qui est cependant le profil en dessous de celui qui est nécessaire pour supporter le moment maximum de calcul en travée. Par conséquent, les assemblages devront transmettre chacun un certain moment fléchissant.

Étape 4: Dimensionner les poteaux comme s'ils étaient articulés sur les poutres.

Étape 5: Déterminer les moments fléchissants que les assemblages doivent transmettre (analyse rigide-plastique).

Étape 6: Vérifier les sections de poteaux sous le moment et l'effort axial sollicitants.

Étapes 7/8: Si la vérification d'un poteau quelconque échoue, il est probablement plus économique d'avoir des assemblages articulés plutôt que d'augmenter la dimension des poteaux et d'avoir des assemblages à résistance partielle.

Étapes 9/10: Effectuer les vérifications pour les divers états limites. Si les poutres ne satisfont pas les états limites de service (ce qui est rare), elles peuvent être maintenues moyennant soit une contre-flèche, soit la prise en compte pour le calcul des flèches de la rigidité des assemblages (estimée au moyen du Tableau 1). Lorsque aucune de ces solutions ne convient, on doit augmenter les dimensions des poutres. Le choix entre ces options est une question d'économie.

Étape 11: Si les vérifications aux états limites ultimes sont satisfaites, les assemblages sont calculés pour transmettre les moments fléchissants appropriés. Si l'on utilise une rigidité de calcul approchée pour la vérification des états limites de service, on doit vérifier que la rigidité réelle est conforme à l'estimation approchée (cf également la Section 4 concernant la rigidité d'assemblage exigée).

Au stade de vérification des éléments dans la Figure 5, il est utile pour le concepteur de disposer d'une indication rapide du type d'assemblage dont il aura besoin à la dernière étape (Étape 11). Il est important de disposer de cette indication le plus tôt possible, de préférence avant la vérification des poutres et poteaux. S'il apparaît que l'assemblage a besoin de raidisseurs, il peut s'avérer plus économique d'adopter des assemblages articulés combinés à une augmentation de la dimension des poutres.

Pour obtenir rapidement une telle indication sur le type d'assemblage, on peut utiliser le Tableau 4.

Les assemblages ayant des dispositions constructives simples sont ceux qui sont traditionnellement considérés comme articulés. Les assemblages ayant des dispositions constructives "complexes" sont capables de transmettre des moments fléchissants mais impliquent un raidissage des poteaux. Les assemblages capables de transmettre des moments fléchissants mais qui n'exigent pas de raidisseurs sont décrits comme "intermédiaires" entre ces deux extrêmes. En général, parce que le raidissage est coûteux en main-d'œuvre, les assemblages "complexes" peuvent donc ne pas conduire à des solutions économiques. Les assemblages à résistance partielle font en général partie des catégories de assemblages "intermédiaires" ou "complexes".

A l'aide du tableau 4, un concepteur peut prévoir la possibilité d'aboutir à des assemblages "intermédiaires" (sans raidisseurs) au cours du processus de calcul de la Figure 5. Ceci peut être fait directement après l'Étape 5. Dans cette étape, on a déterminé les moments de calcul M_{Sd} qui doivent être transmis par les assemblages et, bien sûr, doivent être inférieurs ou égaux aux moments résistants de calcul M_{Rd} de ces assemblages. Par exemple, pour le cas d'un assemblage unilatéral (poutre d'un seul côté du poteau), lorsque le moment de calcul au niveau de l'assemblage M_{Sd} est tel que $M_{Sd} < 5 f_y z t_{fc}^2 / \gamma_{M0}$, on peut normalement trouver une solution finale pour l'assemblage exempte de raidisseurs. Sinon, un raidissage de l'âme du poteau peut s'avérer indispensable. Dans ce dernier cas, il pourrait être préférable d'augmenter la hauteur de la poutre et/ou de choisir d'utiliser des assemblages simples et articulés.

Type de disposition constructive de l'assemblage	Limite indicative du moment résistant de calcul de l'assemblage avec poutre d'un seul côté du poteau	Limite indicative du moment résistant de calcul de l'assemblage avec poutres des deux côtés du poteau
Simple	$M_{j,Rd} = 0$	$M_{j,Rd} = 0$
Intermédiaire (sans raidisseurs)	$M_{j,Rd} \leq 5 f_y z t_{fc}^2 / \chi_{10}$	$M_{j,Rd} \leq 7 f_y z t_{fc}^2 / \chi_{10}$
Complexe (avec raidisseurs)	$M_{j,Rd} > 5 f_y z t_{fc}^2 / \chi_{10}$	$M_{j,Rd} > 7 f_y z t_{fc}^2 / \chi_{10}$
z	distance entre les centres de compression et de traction (bras de levier);	
f_y	limite d'élasticité de la semelle de poteau;	
t_{fc}	épaisseur de semelle de poteau;	
χ_{10}	coefficient partiel de sécurité pour la résistance des éléments.	

Tableau 4: Recommandations pour la résistance des assemblages au cours du calcul préliminaire

Références

- [1] Steenhuis M., Gresnigt N., *Predesign of semi-rigid joints in steel frames*, Workshop 1994 – COST C1, Ed., Wald F., Proceedings of the state of the art, Prague, pp 131-140, 1995.
 [2] Maquoi, R., Chabrolin B., *Calcul des ossatures incluant le comportement des assemblages*, Rapport EUR 18563 EN, ECSC/Commission Européenne, 1998.
 [3] ENV 1993-1-1: Calcul des Structures en Acier : Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments.

Résumé

- Des stratégies de dimensionnement sont présentées pour permettre d'adapter aisément les approches traditionnelles et de prendre en compte la semi-continuité des assemblages (semi-rigidité et/ou résistance partielle).
- Des méthodes de dimensionnement élastique et rigide-plastique peuvent être utilisées.
- Les approches présentées visent à éviter l'utilisation d'assemblages complexes (coûteux) tout en prenant pleinement en compte le comportement des assemblages dès le départ du processus de calcul.
- Des tableaux sont donnés, qui permettent d'obtenir de bonnes estimations de la rigidité des assemblages (pour le calcul élastique) et de la résistance des assemblages (pour le calcul rigide-plastique à résistance partielle) en vue de l'analyse globale.
- Dans une de ces stratégies de calcul, on utilise le fait qu'avec des assemblages semi-rigides, on peut effectuer un calcul correct avec des valeurs de rigidités d'assemblages approchées dans une plage assez importante par rapport à la valeur réelle.

