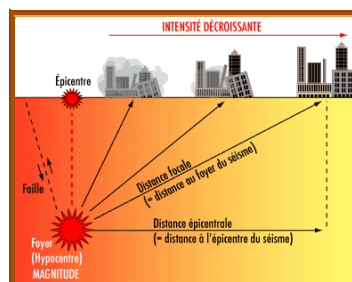




Guide Tuyauterie & Robinetterie



Mise en application de la section II
[Dispositions relatives aux règles parasismiques
applicables à certaines installations]
de l'arrêté du 4 octobre 2010 modifié

DT 113
Avril 2015

SOMMAIRE		Page
1	GÉNÉRALITÉS	5
1.1	Objet et domaine d'application du guide	5
1.2	Comportement des tuyauteries soumises à des sollicitations sismiques	7
1.3	Données requises nécessaires pour la réalisation des évaluations et/ou des calculs	11
1.3.1	Tuyauterie neuve	11
1.3.2	Tuyauterie en service	12
2	TUYAUTERIES AÉRIENNES	15
2.1	Introduction	15
2.2	Hypothèses de calcul et conditions particulières	17
2.2.1	Conditions générales	17
2.2.2	Spectres	18
2.2.3	Amortissement	18
2.2.4	Coefficient de réduction	18
2.3	Description des méthodes d'évaluation	19
2.3.1	Exemption d'analyse (Procédure 1)	19
2.3.2	Estimation de la réponse sismique à partir de vérifications de la distance maximale entre supports et/ou de la détermination de la distance maximale entre supports (Procédure 2)	20
2.3.3	Détermination de la réponse sismique par analyse statique équivalente (Procédure 3)	25
2.3.4	Détermination de la réponse sismique en base modale à partir de spectres de réponse (Procédure 4)	25
3	TUYAUTERIES ENTERRÉES	27
4	ROBINETTERIE	29
4.1	Introduction	29
4.1.1	Lorsque seul le maintien en place de la tuyauterie considérée (stabilité) est requis	29
4.1.2	Lorsque le maintien en place de la tuyauterie considérée & le confinement du produit manipulé à l'intérieur de la tuyauterie (intégrité) sont requis.	29
4.1.3	Lorsque le maintien en place de la tuyauterie, le confinement du produit manipulé à l'intérieur de la tuyauterie & le maintien des capacités fonctionnelles de la tuyauterie considérée sont requis	29
4.1.4	Lorsque le maintien en place de la tuyauterie, le confinement du produit manipulé à l'intérieur de la tuyauterie, le maintien des capacités fonctionnelles de la tuyauterie considérée & le maintien de l'opérabilité de tout ou partie des organes d'exploitation de la tuyauterie (vannes, robinets...) sont requis	29
5	RÉFÉRENCES	35
ANNEXES		
Annexe 1 : Vérification des contraintes longitudinales		39
Annexe 2 : Détermination de la distance maximale entre supports		43
Annexe 3 : Supports primaires de tuyauteries		67

1 - GENERALITES

1.1 - Objet et domaine d'application du guide

Le but du présent guide est de définir, pour les tuyauteries industrielles neuves ou en service, des procédures et/ou méthodologies de vérification au séisme répondant aux exigences de la réglementation applicable sur le territoire français [3], [4], [6].

Note : Dans le cadre du présent guide on entend par tuyauterie les composants proprement dits constituant la tuyauterie (tuyaux droits, coudes...) ainsi que les équipements supportés par ces derniers (vannes, robinets...) et les supports primaires supportant ces tuyauteries.

Les tuyauteries objets des recommandations de la présente version du guide sont les tuyauteries industrielles répondant aux critères définis par l'arrêté du 24 Janvier 2011 [6].

Note : Les canalisations de transport sont exclues du domaine d'application du présent guide.

Note : Les tuyauteries considérées peuvent être ou non soumises aux exigences réglementaires relatives aux équipements sous pression [17], [18].

Les tuyauteries aériennes font l'objet du Chapitre 2 du présent guide. Les tuyauteries enterrées sont traitées au Chapitre 3 et la robinetterie au Chapitre 4.

Les données sismiques utilisées pour la vérification au séisme de ces tuyauteries doivent être conformes aux exigences réglementaires applicables. A cet égard, l'exploitation et les interprétations éventuelles des textes réglementaires font l'objet du *Guide Méthodologie générale– mise en application de la section II (Dispositions relatives aux règles parasismiques applicables à certaines installations) de l'arrêté du 4 octobre 2010 modifié* [9a] auquel il convient de se reporter pour l'application du présent guide.

Dans le cadre du présent guide, la vérification au séisme des tuyauteries à pour but d'assurer le respect de l'une des conditions suivantes :

- Maintien en place de la tuyauterie considérée (stabilité).

Note : Cette exigence concerne notamment les tuyauteries pour lesquelles aucune condition particulière n'est requise mais dont les déplacements et/ou l'endommagement peuvent entraîner des désordres sur des lignes pour lesquelles l'un des critères définis ci-après doit être respecté.

- Maintien en place de la tuyauterie considérée & confinement du produit manipulé à l'intérieur de la tuyauterie (intégrité),

Note 1 : Les vérifications envisagées portent sur l'état limite ultime au sens de la référence [28 Chapitre 5 § 5.2]

Note 2 : Pour les assemblages non permanents (assemblages à brides boulonnés ou assemblages vissés uniquement. Les autres modes d'assemblages non permanents notamment les joints coulissants sont exclus de la présente version du guide), une fuite temporaire limitée peut être admise, sous réserve que celle-ci soit prise en compte dans les analyses de risques. Pour les assemblages à brides boulonnées si une étude s'avère nécessaire (par exemple fuite d'un produit très toxique via une bride à proximité immédiate d'une clôture) la fuite peut être évaluée en se reportant à la référence [125f].

- Maintien en place de la tuyauterie, confinement du produit manipulé à l'intérieur de la tuyauterie & maintien des capacités fonctionnelles de la tuyauterie considérée.

Note 1 : Le maintien des capacités fonctionnelles correspond notamment à l'absence d'obstruction de la ligne : pliage des coudes par exemple

Note 2 : Les vérifications envisagées portent sur l'état de limitation des dommages au sens de la référence [28 Chapitre 5 § 5.2]

- Maintien en place de la tuyauterie, confinement du produit manipulé à l'intérieur de la tuyauterie, maintien des capacités fonctionnelles de la tuyauterie considérée & maintien de l'opérabilité de tout ou partie des organes d'exploitation de la tuyauterie (vannes, robinets...).

La décision quant aux conditions à respecter est de la responsabilité du Donneur d'ordre (Tuyauterie neuve) ou de l'Exploitant (Tuyauterie en service).



Figure 1.1

1.2 - Comportement des tuyauteries soumises à des sollicitations sismiques

De manière générale, les tuyauteries industrielles ont un bon comportement [65] lorsqu'elles sont soumises à des sollicitations sismiques et les cas de dégradations significatives restent rares (Figures 1.2-5 à 1.2-9).

Toutefois, quelques situations peuvent présenter des risques potentiels :

- lignes en mauvais état (corrosion, par exemple Figure 1.2-1) ou comportant des matériaux pouvant présenter des risques de fragilisation.
- tronçons courts reliant des éléments pouvant avoir des déplacements relatifs importants (ligne reliant deux bâtiments indépendants proches, ou ligne courte de petit diamètre raccordée à une grosse ligne flexible, par exemple).
- tronçons longs non supportés latéralement qui peuvent induire des efforts importants sur les équipements sur lesquels ces lignes sont raccordées (Figure 1.2-2).
- présence d'une masse concentrée importante : vannes, avec risque d'endommagement de celles-ci par choc avec des structures voisines (Figure 1.2-3).



Figure 1.2-1



Figure 1.2-3



Figure 1.2-2



NISEE, University of California, Berkeley
PEER Center, Edgcumbe Collection No. ED34

Figure 1.2-5

**Rupture de tuyauterie à la base
d'un réservoir d'eau**

[Séisme d'Edgcumbe, Nouvelle Zélande,
Mars 1987 - Magnitude 6.3]



NISEE, University of California, Berkeley
PEER Center, Izmit Collection No. IZT-197

Figure 1.2-6

[Séisme d'Izmit, Turquie,
Août 1999 - Magnitude 7.4]



NISEE, University of California, Berkeley
PEER Center, Northridge Collection No. NR0092

Figure 1.2-7

**Défaillance d'un support (mouvements des
fondations dus à la liquéfaction du sol)**

[Séisme de Northridge, Californie USA,
Janvier 1994 - Magnitude 6.69]



(a)



(b)

Figure 1.2-8

Endommagement d'une tuyauterie d'incendie

[(a) Glissement de la tuyauterie sans rupture de l'étrier de fixation ; (b) Rupture de la liaison]

[65 : Perou 2001 - Magnitude 8.4]



NISEE, University of California, Berkeley
PEER Center, Northridge Collection No. NR0059

Figure 1.2-9
Défaillance (Flambement) d’une tuyauterie
enterrée
[Séisme de Northridge, Californie USA,
Janvier 1994 - Magnitude 6.69]

1.3 - Données relatives à la réalisation des évaluations et/ou des calculs

1.3.1 - Tuyauterie neuve

Les documents et informations listés ci-dessous sont donnés uniquement à titre indicatif. Le niveau de détail des données à collecter est fonction de la méthode d'évaluation retenue par l'Exploitant parmi celles présentées au § 2.1

- Référentiels techniques [125], [126], [127], [129] suivant lequel la tuyauterie et son supportage sont conçus et seront fabriqués.
- Plan isométrique : plan représentant la tuyauterie en perspective isométrique et mentionnant toutes les cotes nécessaires à sa préfabrication et éventuellement à son montage. Les supports et l'instrumentation y sont en général repérés. Les indications précises les concernant et leur implantation figurent soit sur le plan isométrique, soit sur un document séparé.
- Schéma de procédé (Flow Diagram ou Process flow scheme) : document établi pour permettre de comprendre aisément le fonctionnement de l'installation.
- Schéma de circulation des fluides (Flow-sheet ou P&I Diagram) : document indiquant les équipements, les liaisons et connexions de tuyauterie ainsi que leurs diamètres, la robinetterie et l'instrumentation.
- Liste de tuyauteries : document consistant en une liste permettant de repérer, sur les schémas de circulation des fluides, les différentes tuyauteries. Celles-ci doivent être repérées par un numéro rappelé sur les schémas.

Cette liste comporte, pour chaque tuyauterie, les caractéristiques suivantes :

- numéro de repère,
- nature du fluide,
- diamètre nominal,
- nuance et caractéristiques mécaniques des matériaux,
- conditions de service (température et pression),
- éventuellement, conditions de calcul (température et pression),
- situation de la tuyauterie avec indication des points de départ et d'arrivée,
- type et caractéristiques de l'isolation (ignifuge, calorifuge...),
- épaisseurs des composants et surépaisseurs de corrosion éventuelles. Les épaisseurs à prendre en compte dans les calculs sont les épaisseurs nominales, surépaisseur de corrosion éventuelle déduite,
- assemblages non permanents (assemblages à brides, assemblages vissés...).
- Plan d'implantation des appareils ou équipements (Plot plan) : ce plan représente succinctement tous les équipements, structures, charpente-support, bâtiments, etc., d'une unité ou d'une usine, positionnés les uns par rapport aux autres, l'ensemble étant géographiquement orienté et délimité.
- Caractéristiques du sol (Module de cisaillement dynamique effectif, Masse volumique, Coefficient de Poisson, voir aussi [9a] §7.2.4).
- Données relatives au séisme(s) considéré(s) : Spectres au droit des supports et le cas échéant déplacements imposés... (voir aussi [9a] §7.2.2 & 7.2.3).
- Note de calcul : Cette note présente les méthodes de calcul utilisées pour déterminer les épaisseurs requises des composants et éléments de tuyauterie soumis à la pression et présente également les résultats des calculs de flexibilité, lorsque ceux-ci sont mis en œuvre, et la vérification des contraintes. Ces calculs doivent, lorsque requis, permettre de justifier la résistance au séisme des tuyauteries considérées.

1.3.2 - Tuyauterie en service

Les documents et informations listés ci-dessous sont donnés uniquement à titre indicatif. Le niveau de détail des données à collecter est fonction de la méthode d'évaluation retenue par l'Exploitant parmi celles présentées au § 2.1

- Référentiels techniques [125], [126], [127], [129] suivant lequel la tuyauterie et son supportage ont été conçus et fabriqués. Il est recommandé de vérifier que les exigences de ce référentiel ont bien été respectées,

En l'absence de document de référence, c'est-à-dire lorsque la tuyauterie n'a pas été construite en se référant à un référentiel technique ou lorsque ce référentiel est inconnu, il est de la responsabilité de l'Exploitant soit de choisir un référentiel auquel il se référera pour évaluer la qualité de la construction et son état soit de justifier par tout autre moyen de la bonne qualité de la tuyauterie considérée.

- Plan isométrique : plan représentant la tuyauterie en perspective isométrique et mentionnant toutes les cotes nécessaires à sa préfabrication et éventuellement à son montage. Les supports et l'instrumentation y sont en général repérés. Les indications précises les concernant et leur implantation figurent soit sur le plan isométrique, soit sur un document séparé.
- Schéma de procédé (Flow Diagram ou Process flow scheme) : document établi pour permettre de comprendre aisément le fonctionnement de l'installation
- Schéma de circulation des fluides (Flow-sheet ou P&I Diagram) : document indiquant les équipements, les liaisons et connexions de tuyauterie ainsi que leurs diamètres, la robinetterie et l'instrumentation.
- Liste de tuyauteries : document consistant en une liste permettant de repérer, sur les schémas de circulation des fluides, les différentes tuyauteries. Celles-ci doivent être repérées par un numéro rappelé sur les schémas.

Cette liste comporte, pour chaque tuyauterie, les caractéristiques suivantes :

- numéro de repère,
- nature du fluide,
- diamètre nominal,
- nuance et caractéristiques mécaniques des matériaux,
- conditions de service (température et pression),
- éventuellement, conditions de calcul (température et pression),
- situation de la tuyauterie avec indication des points de départ et d'arrivée,
- type et caractéristiques de l'isolation (ignifuge, calorifuge...),
- assemblages non permanents (assemblages à brides, assemblages vissés...),
- épaisseurs des composants et surépaisseurs de corrosion éventuelles. Les épaisseurs à prendre en compte dans les calculs sont, à l'initiative de l'Exploitant :

- L'épaisseur nominale de commande (c.à.d. « tel que construit »), perte d'épaisseur due à la corrosion éventuelle déduite (voir Note).

Note : Perte d'épaisseur estimée pour la période comprise entre la date de construction et la date du prochain relevé d'épaisseur prévu par le plan d'inspection. En fonction des matériaux utilisés, du produit stocké ainsi que des éventuelles dispositions constructives spécifiques (revêtement par exemple) cette perte d'épaisseur peut être nulle.

ou,

- L'épaisseur mesurée lors de la dernière inspection, perte d'épaisseur due à la corrosion éventuelle déduite (voir Note).

Note : Perte d'épaisseur estimée pour la période comprise entre la date à laquelle les mesures d'épaisseur ont été effectuées et la date du prochain relevé d'épaisseur prévu par le plan d'inspection. En fonction des matériaux utilisés, du produit stocké ainsi que des éventuelles dispositions constructives spécifiques (revêtement par exemple) cette perte d'épaisseur peut être nulle.

ou,

- L'épaisseur minimum requise (voir Note), lors de la prochaine inspection.

Note : Il s'agit ici des épaisseurs minimales requises pour répondre aux conditions d'exploitation.

- Plan d'implantation des appareils ou équipements (Plot plan) : ce plan représente succinctement tous les équipements, structures, charpentes-support, bâtiments, etc., d'une unité ou d'une usine, positionnés les uns par rapport aux autres, l'ensemble étant géographiquement orienté et délimité.

Note : Certaines charpentes-support continues sont parfois appelées « racks ».

- Caractéristiques du sol (Module de cisaillement dynamique effectif, Masse volumique, Coefficient de Poisson, voir aussi [9a §7.2.4]).
- Données relatives au(x) séisme(s) considéré(s) : Spectres au droit des supports et le cas échéant déplacements imposés... (voir aussi [9a §7.2.2 & 7.2.3]).
- Note de calcul : Cette note présente les méthodes de calcul utilisées pour déterminer les épaisseurs requises des composants et éléments de tuyauterie soumis à la pression et présente également les résultats des calculs de flexibilité, lorsque ceux-ci sont mis en œuvre, et la vérification des contraintes. Ces calculs peuvent porter aussi sur la justification de la résistance au séisme des tuyauteries considérées.
- Rapports des opérations de surveillance, des inspections de routine ou des inspections réglementaires (voir notamment [133] ainsi que les Guides UIC DT 96 [134] et DT 98 [135]) : ces rapports doivent rassembler les examens et contrôles éventuels mis en œuvre pour le suivi en service de la tuyauterie. Les examens et contrôles qui ont pu être réalisés sont des contrôles non destructifs, des évaluations métallurgiques (mesures de dureté, répliques...), des essais mécaniques... Ces rapports doivent permettre de connaître les éventuelles opérations de réparation antérieures.

A ce titre, les dégradations ci-après, au minimum, doivent faire l'objet d'une attention particulière et peuvent nécessiter une visite sur site par du personnel expérimenté (voir [9a § 7.3.1]) :

- déformation excessive de la tuyauterie et/ou du supportage,
- défauts de forme et d'aspects des joints soudés,
- défauts de surface préjudiciables à la tenue mécanique de l'enveloppe sous pression,
- déformation de la paroi des appareils à pression raccordé à la tuyauterie,
- détérioration d'un revêtement de surface ou d'une peinture contre la corrosion,
- boulons d'ancrage cisailés ou manquants,
- tronçon de tuyauterie délogé de son support,
- fondation fissurée,
- défauts de forme : écart de circularité, ovalisation, désalignement des fibres neutres et/ou angulaire des assemblages soudés,
- fuites éventuellement dues à de la corrosion ou à des assemblages non permanents (assemblage à brides le plus souvent),

ainsi que les modes d'endommagements suivants :

- Endommagements par perte d'épaisseur (Corrosion atmosphérique, Corrosion sous calorifuge, Corrosion sous contrainte, Corrosion galvanique, Corrosion par piqûres, Corrosion caverneuse, Erosion, Cavitation, Oxydation).
- Endommagements métallurgiques (Fluage, Fatigue mécanique, thermique ou thermomécanique, Rupture brutale (fragile ou ductile), Modification métallurgique du matériau dont corrosion sélective, décarburation, décohésion des joints de grain...).

2 - TUYAUTERIES AÉRIENNES

2.1 - Introduction

Les recommandations du présent Chapitre portent sur les tuyauteries aériennes, en caniveau ou en galerie et permettent d'évaluer le comportement d'une tuyauterie soumise à des chargements sismiques. La mise en œuvre des différentes méthodologies proposées ci-après supposent que les prescriptions du § 1.3 sont appliquées et que les hypothèses générales retenues dans le présent guide objet du § 2.2 ci-après sont respectées.

Cinq procédures d'évaluation du comportement d'une tuyauterie soumise à des sollicitations sismiques sont proposées dans le présent guide [137a], [139], [150], [151] :

- Exemption d'analyse (**Procédure 1** : § 2.3.1).
- Estimation de la réponse sismique à partir de vérifications de la distance maximale entre supports (**Procédure 2** : § 2.3.2.1) et/ou de la détermination de la distance maximale entre supports (**Procédure 3** : § 2.3.2.2).
- Détermination de la réponse sismique par analyse statique équivalente (**Procédure 4** : § 2.3.3).
- Détermination de la réponse sismique en base modale à partir de spectres de réponse (**Procédure 5** : § 2.3.4).

Note 1 : D'autres procédures/méthodologies, par exemple le calcul de la réponse sismique par intégration directe des équations du mouvement en fonction du temps, peuvent être envisagées [9a], [139 § 4.5.5]. Beaucoup plus complexes, ces procédures ne sont appliquées que très exceptionnellement et requièrent dans la plupart des cas l'intervention de spécialistes.

Note 2 : La qualification de ces types de tuyauterie par retour d'expérience/comparaison peut être éventuellement envisagée. A cet effet, il convient de se reporter au Chapitre 7 du Guide de méthodologie générale [9a] ainsi qu'aux références [138]

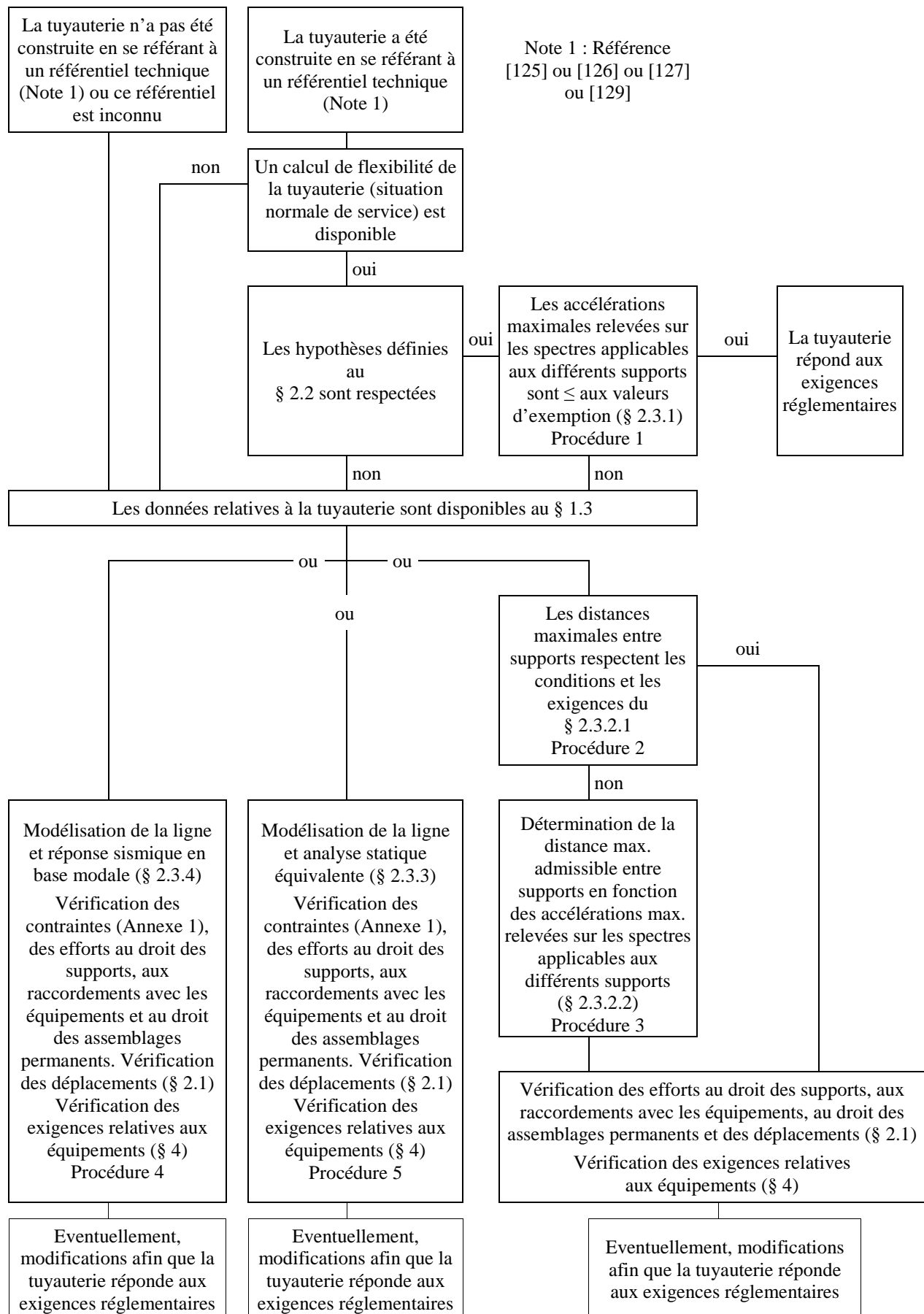
Note 3 : Le choix de la méthode, ainsi que celui des hypothèses et des critères d'acceptation doivent normalement faire l'objet d'un accord entre le Donneur d'ordre (Tuyauterie neuve) ou l'Exploitant (Tuyauterie en service) et l'intervenant en charge des études.

Ces procédures, objet d'une brève description au § 2.3 ci-après, permettent de s'assurer que :

- les contraintes longitudinales dans la tuyauterie sont acceptables (Annexe 1),
- les efforts au droit des supports sont acceptables (Annexe 2),
- les efforts sur les équipements raccordés (réservoirs, pompes...) sont acceptables ([125f], [140], [141], ...),
- les efforts et les déformations au droit des assemblages non-permanents (assemblages à brides boulonnés, assemblages vissés...) sont acceptables (voir § 1.1),
- les déplacements/déformations de la tuyauterie ne conduisent pas à des chocs et/ou interférences avec les équipements voisins.

Note : Sauf dispositions contractuelles spécifiques, aucune autre limitation de la flèche n'est imposée.

En fonction des différentes situations pouvant être rencontrées le logigramme présenté ci-après précise les différentes étapes de l'évaluation du comportement d'une tuyauterie.



2.2 - Hypothèses de calcul et conditions particulières

2.2.1 - Conditions générales

Les recommandations du présent chapitre couvrent les matériaux ferreux et non ferreux sous réserve du respect des conditions ci-après :

- Les matériaux (tuyauteries et supportage) des différents composants doivent présenter une ductilité suffisante à la température d'exploitation (Note 1).

Note 1 : Pour les équipements neufs, il est recommandé de se reporter aux exigences de l'Annexe 1 au Décret N° 99-1046 du 13 Décembre 1999 relatif aux Equipements sous pression § 7.5. Caractéristiques des matériaux qui requière notamment un allongement à rupture supérieur ou égal à 14%. Cette valeur peut être ramenée à 10% pour les équipements en service. Dans les deux cas, pour la boulonnerie, cette valeur doit être égale ou supérieure à 12%.

- Pour les règles d'exemption et pour les calculs analytiques (Procédures 1, 2 et 3) la température de service doit être $\leq 110^{\circ}\text{C}$.

Pour les deux autres procédures la température de service doit être inférieure ou égale à la température de fluage et l'étendue de variation de contrainte [125f § C10.3.4] doit respecter les exigences du référentiel technique retenu pour l'évaluation considérée.

- Les assemblages permanents couverts par les présentes recommandations sont uniquement les assemblages réalisés par soudage.
- Pour les trois premières procédures la tuyauterie est considérée comme découplée de la structure de supportage secondaire (rack/pont par exemple Figures ci-dessous). Cette hypothèse sera respectée si le poids des tuyauteries supportées est inférieur ou égal à 25% de la somme du poids de la structure support et des tuyauteries supportées [139 § 4.4.3], [143]. Si tel n'est pas le cas, les règles proposées au Chapitre 3.4 du *Guide Structures support* [9c] peuvent permettre de justifier le découplage. Si le découplage ne peut être justifié, alors la quatrième ou la cinquième procédure doit être envisagée.

Note : Les hypothèses retenues pour définir ces règles sont conservatives (comportement élastique linéaire). Des analyses plus détaillées (comportement non linéaire) peuvent permettre de réduire ce conservatisme.

- Pour ce qui est de l'interaction entre les composants de différents diamètres d'une même tuyauterie, il est admis de considérer que deux composants connectés peuvent être étudiés indépendamment l'un de l'autre si le rapport de leurs diamètres est supérieur ou égal à trois ou si le rapport de leurs inerties est supérieur à 25.



Figure 2.2.1-1



Figure 2.2.1-2

2.2.2 - Spectres

Toutefois, les tuyauteries sont supportées en différents points (supports, racks, appareils, bâtiment) au droit desquels les spectres sismiques sont en général différents. Sauf de disposer de logiciel permettant un traitement avec des spectres différents à chaque support [142], il est alors recommandé que les calculs soient réalisés à partir d'un spectre enveloppe dont les résultats seront à cumuler avec les effets des déplacements différentiels appliqués aux supports [9b], [28] Chapitre 5 § 5.3.1 & § 5.3.1 & 5.4.2 (5)].

Note : Dans de nombreux cas les effets inertiels dus aux excitations sismiques peuvent être très faibles comparativement aux effets des déplacements différentiels.

D'autre part, le séisme doit être appliqué dans deux directions horizontales orthogonales indépendamment, puis combinée en calculant la racine carrée de la somme des carrés des réponses dues à chaque composante horizontale et, éventuellement, de la composante verticale [28 Chapitre 5 § 5.3.2 & 5.4.2(4)].

2.2.3 - Amortissement

Pour les différentes situations envisageables et sauf justification particulière ou exigence spécifique [129], il convient d'utiliser un coefficient d'amortissement égal à 5%.

2.2.4 - Coefficient de réduction

Pour les calculs correspondant à la vérification à l'état limite ultime au sens de la référence [28], il est admis, pour les matériaux présentant une ductilité suffisante, d'utiliser un coefficient de réduction qui, sauf justification particulière, peut être égal à 1,5 pour des tuyauteries dont le rapport rayon/épaisseur est supérieur à 100, égal à 2 pour des tuyauteries dont le rapport rayon/épaisseur est supérieur à 50 et inférieur à 100 et égal à 3 pour les tuyauteries dont le rapport rayon/épaisseur est inférieur à 50.

2.3 - Description des méthodes d'évaluation

2.3.1 - Exemption d'analyse (Procédure 1)

2.3.1.1 - Lorsqu'une étude de flexibilité est disponible et lorsque les accélérations maximales auxquelles un tronçon **horizontal** donné est soumis respectent les conditions définies Tableau 2.3.1.1-1 ci-après, ce tronçon de tuyauterie répond aux exigences réglementaires et n'a pas à faire l'objet d'analyse supplémentaire (Annexe 1).

$k = 1,8$	$\gamma_s = \sqrt{(\gamma_h)^2 + (\gamma_v)^2} \leq 1,6 \text{ g}$
$k = 1,5$	$\gamma_s = \sqrt{(\gamma_h)^2 + (\gamma_v)^2} \leq 1,00 \text{ g}$
$k = 1,3$	$\gamma_s = \sqrt{(\gamma_h)^2 + (\gamma_v)^2} \leq 0,60 \text{ g}$

Tableau 2.3.1.1-1

où :

γ_h = Accélération sismique horizontale maximale à laquelle le tronçon peut être soumis

γ_v = Accélération sismique verticale maximale à laquelle le tronçon peut être soumis

Note : Cette possibilité suppose toutefois que les supports agissent dans les directions verticale (descendant et ascendant) et horizontale (appuis latéraux) et que les grandes lignes droites horizontales de tuyauteries comportent un appui dans la direction axiale.

2.3.1.2 - Lorsqu'une étude de flexibilité est disponible et lorsque les accélérations maximales auxquelles un tronçon **vertical** donné est soumis respectent les conditions définies Tableau 2.3.1.2-1 ci-après, ce tronçon de tuyauterie répond aux exigences réglementaires et n'a pas à faire l'objet d'analyse supplémentaire.

$k = 1,8$	$\gamma_h \leq 1,1 \text{ g}$
$k = 1,5$	$\gamma_h \leq 0,7 \text{ g}$
$k = 1,3$	$\gamma_h \leq 0,4 \text{ g}$

Tableau 2.3.1.2-1

où :

γ_h = Accélérations sismiques horizontales maximales auxquelles le tronçon peut être soumis

Note : Cette possibilité suppose toutefois que les supports agissent dans les deux directions horizontales et que les grandes lignes droites verticales de tuyauteries sont supportées dans la direction verticale (cf. illustration ci-contre).

2.3.1.3 - Si un tronçon est soumis à des chargements sismiques engendrant des déplacements différentiels à ses extrémités, il convient pour en évaluer l'influence de se reporter au § 2.3.2.3 ci-après.

2.3.1.4 - Dans la cadre de l'application de ces exemptions, les déplacements, réactions aux supports et efforts aux piquages sont considérés comme suffisamment faibles pour ne pas faire l'objet de vérifications spécifiques. En cas de doute, il est toutefois recommandé pour les points particuliers pouvant être concernés de se reporter au § 2.3.2 ci-après.



2.3.2 - Estimation de la réponse sismique à partir de vérifications de la distance maximale entre supports (Procédure 2) et/ou de la détermination de la distance maximale entre supports (Procédure 3)**2.3.2.1 - Vérification de la distance maximale entre supports (Procédure 2)**

Lorsque, pour un tronçon respectant les conditions du § 2.2 et les conditions ci-dessous, la distance entre supports est inférieure ou égale à la valeur définie ci-après Tableau 2.3.2.1, alors ce tronçon répond aux exigences réglementaires et n'a pas à faire l'objet d'analyse supplémentaire.

Les distances entre supports du tableau ci-après ont été définies pour les conditions suivantes :

- Matériau : Acier

Limite d'élasticité conventionnelle à 0,2% d'allongement à 20°C = 265 MPa pour $e \leq 16$ mm et = 255 MPa pour $16 \text{ mm} < e \leq 40$ mm.

Pour un matériau de limite d'élasticité différente, les distances du tableau ci-après doivent être multipliées par le rapport [Contrainte admissible du matériau en MPa / 170]^{0.5}. Les flèches seront alors multipliées par le rapport [distance modifiée/distance initiale]⁴ et les réactions par le rapport [distance modifiée/distance initiale].

- Masse volumique = 7 800 kg/m³.

Pour un matériau de masse volumique différente, les distances du tableau ci-après doivent être multipliées par le rapport $[(m_{\text{linéique_tuyau}} + m_{\text{linéique_produit}}) / (m_{\text{linéique modifiée_tuyau}} + m_{\text{linéique_produit}})]^{0.5}$.

Les flèches seront alors multipliées par le rapport [distance modifiée/distance initiale]⁴ et les réactions par le rapport [distance modifiée/distance initiale]

- Coefficient d'intensification de contraintes = 1 (tuyau droit).

Pour tout autre valeur de ce coefficient [125f Section C10 voir note] les distances du tableau ci-après doivent être multipliées par le rapport $(1/i)^{0.5}$.

Les flèches seront alors multipliées par le rapport [distance modifiée/distance initiale]⁴ et les réactions par le rapport [distance modifiée/distance initiale].

Note : Pour les assemblages visés, non prévue par ce document, prendre $i = 2,3$.

- Les distances du tableau ci-après sont déterminées pour chaque diamètre d'une part pour l'épaisseur minimum normalisée et d'autre part pour l'épaisseur maximum normalisée telle que le rapport Diamètre extérieure/Diamètre intérieure soit approximativement égal à 1,7 [125f Section C2].

- Les distances sont déterminées pour un produit de masse volumique égale à 1 000 kg/m³.

Pour toute autre densité, les distances du tableau ci-après doivent être multipliées par le rapport $[(m_{\text{linéique_tuyau}} + m_{\text{linéique_produit}}) / (m_{\text{linéique_tuyau}} + m_{\text{linéique modifiée_produit}})]^{0.5}$.

Les flèches seront alors multipliées par le rapport [distance modifiée/distance initiale]⁴ et les réactions par le rapport [distance modifiée/distance initiale].

- Pour un ou plusieurs changements de direction (coudes) entre deux supports, la longueur développée doit être égale au maximum à la distance déterminée pour une longueur droite / 1,5.

- Equipement supporté (voir aussi Note de la première puce du § 4.1) :

Lorsque le tronçon supporte un équipement (vanne, robinet, ...) non excentré par rapport à l'axe de la tuyauterie, les distances du tableau ci-après doivent être réduites de la valeur suivante :

Masse de l'équipement supporté / $(m_{\text{linéique_tuyau}} + m_{\text{linéique_produit}})$

Lorsqu'une partie M_m de la masse de l'équipement supporté est excentrée d'une distance d_{ex} par rapport à l'axe de la tuyauterie (voir Note § 4.1), la distance entre supports ne doit pas être supérieure à :

$$[(\text{distance du tableau ci-après})^2 - 4(M_m \cdot d_{\text{ex}})/(m_{\text{linéique_tuyau}} + m_{\text{linéique_produit}})]^{0,5}$$

- Séisme Zone 5 Classe de sol E Equipements neufs :

Pour toute autre situation sismique pour laquelle les accélérations sont supérieures, les distances du tableau ci-après doivent être multipliées par le rapport ci-après :

$$[28^{0,5} / ((\text{Accélération horizontale maximum relevée sur le spectre applicable})^2 + (\text{Accélération verticale maximum relevée sur le spectre applicable})^2)^{0,5}]^{0,5}$$

Les flèches seront alors multipliées par le rapport [distance modifiée/distance initiale]⁴ et les réactions par le rapport [distance modifiée/distance initiale]

- Situation : $k = 1,3$

Pour $k = 1,5$ et $k = 1,8$, les accélérations acceptables, ainsi que les flèches et les réactions, peuvent être multipliées respectivement par 5/3 et 8/3.

- Coefficients de réduction : Séisme horizontal = 1,5; Séisme vertical = 1,5
- Cette procédure suppose que les grandes lignes droites horizontales de tuyauteries comportent un appui dans la direction axiale (dès que la longueur droite est supérieure à 2 fois la distance du tableau ci-après [137a]) et que les grandes lignes droites verticales de tuyauteries sont supportées dans la direction verticale (Voir Note du § 2.3.1.2).
- Le tableau ci-après est destiné directement aux tronçons horizontaux. Pour les tronçons verticaux les distances doivent être multipliées par 0,9. Les flèches dans les deux directions horizontales sont égales aux valeurs de la colonne H multipliées par 0,75. Les deux réactions dans les deux directions horizontales sont égales aux valeurs de la colonne H multipliées par 1,05.

Diamètre extérieur	Epaisseur	Distance entre supports	Flèche		Réactions		Masse linéique du tuyau	Masse linéique du produit
			H	V	H	V	m linéique—tuyau	m linéique—produit
mm	mm	m	mm	mm	kN	kN	kg/m	kg/m
26,9	2	4,00	49,1	54,5	0,075	0,084	1,22	0,41
26,9	5,6	4,00	50,3	55,9	0,144	0,160	2,92	0,19
33,7	2,2	4,50	51,4	57,0	0,123	0,137	1,70	0,67
33,7	7,1	4,50	51,5	57,2	0,256	0,285	4,63	0,30
42,4	2,6	5,00	50,1	55,7	0,210	0,232	2,54	1,09
42,4	8,8	5,00	49,4	54,8	0,447	0,496	7,25	0,48
48,3	2,6	5,25	48,7	54,0	0,265	0,294	2,91	1,46
48,3	10	5,25	46,2	51,3	0,608	0,675	9,39	0,63
60,3	2,9	5,75	46,5	51,6	0,426	0,473	4,08	2,33
60,3	12,5	6,00	50,6	56,2	1,082	1,202	14,6	0,98
76,1	2,9	6,25	44,4	49,3	0,656	0,728	5,20	3,88
76,1	16	6,75	51,1	56,7	1,956	2,172	23,6	1,53
88,9	3,2	6,75	45,3	50,3	0,941	1,045	6,72	5,35
88,9	17,5	7,50	56,2	62,4	2,850	3,165	30,6	2,28
114,2	3,6	7,50	44,4	49,3	1,624	1,803	9,76	8,99
114,2	22,2	8,50	56,1	62,3	5,289	5,873	50,1	3,83
139,7	4	8,00	40,2	44,6	2,488	2,762	13,3	13,6
139,7	28	9,25	52,9	58,7	8,776	9,745	76,6	5,50
168,3	4,5	8,50	36,6	40,6	3,730	4,142	18,1	19,9
168,3	32	10,25	54,4	60,4	13,66	15,17	107	8,54
219,1	6,3	10,00	41,8	46,4	7,280	8,084	31,8	31,3
219,1	40	11,50	54,2	60,1	24,23	26,90	168,7	13,7
273	6,3	10,50	35,0	38,9	11,45	12,72	41,2	53,3
273	55	13,00	54,1	60,1	47,25	52,46	293	20,9
323,9	7,1	11,25	33,7	37,5	16,95	18,82	55,1	75,3
323,9	65	14,00	51,6	57,3	71,46	79,34	412	29,5
355,8	8	12,00	35,7	39,6	22,02	24,45	68,2	90,7
355,8	70	15,00	56,2	62,4	91,27	101,4	490	366
406,4	8,8	12,00	27,9	31,0	28,34	31,47	85,7	118,7
406,4	80	16,00	55,7	61,9	127,1	141,1	639,9	47,7
457	10	13,00	30,3	33,6	38,97	43,27	110	150
457	90	17,00	56,2	62,4	170,8	189,6	809	60,3
508	11	14,00	33,1	36,8	51,65	57,36	1334	186
508	100	18,00	57,1	63,4	223,3	248,0	1000	74,5
610	12,5	15,00	31,3	34,7	78,27	86,92	183	269
610	100	20,00	58,5	65,0	319,2	354,4	1250	132
711	25	18,50	40,4	44,8	163,1	181,1	420	343
711	100	21,50	56,6	62,9	422,7	469,4	1497	205

Tableau 2.3.2.1

2.3.2.2 - Détermination de la distance maximale entre supports (Procédure 3)

Les valeurs des distances maximales entre supports définies ci-dessus (Tableau 2.3.2.1) ont été déterminées en retenant des hypothèses relativement conservatives.

Aussi lorsque ces distances ne sont pas respectées et/ou ne peuvent pas être respectées il est possible de réduire le conservatisme de ces exigences en utilisant les formulations analytiques proposées, sous forme d'exemples, en Annexe 2.

2.3.2.3 - Déplacements différentiels

Lorsque les supports d'un tronçon sont soumis à des déplacements différentiels [126], [137a], l'effet de ces derniers peut être vérifié à partir des formules suivantes :

$$M_{\max} = \frac{6 \Delta_{\max} E I}{l_{\text{supports}}^2}$$

$$k = 1,3 \quad \sigma_6 = \frac{i M_{\max}}{Z} \leq \text{MIN} (3 f_{\text{froid}} ; 2 R_e)$$

$$k = 1,5 \quad \sigma_6 = \frac{i M_{\max}}{Z} \leq \text{MIN} (4,5 f_{\text{froid}} ; 3 R_e)$$

$$k = 1,8 \quad \sigma_6 = \frac{i M_{\max}}{Z} \leq \text{MIN} (6 f_{\text{froid}} ; 4 R_e)$$

où :

Δ_{\max} = Déplacement relatif entre les deux supports considérés

E = Module d'élasticité du matériau

I = Moment d'inertie de la section considérée

l_{supports} = Distance entre les supports

i = Coefficient d'intensification de contrainte [125f]

Z = Module d'inertie de la section du tronçon considéré

f_{froid} = Contrainte admissible à la température ambiante

R_e = Limite d'élasticité à la température ambiante du matériau



Figure 2.3.2.3

2.3.2.4 - Efforts aux raccordements avec les appareils ou entre différents tronçons

L'acceptabilité des efforts (forces et moments) déterminés à partir des formulations définies ci-dessus peut être vérifiée soit à partir des valeurs définies dans des documents normatifs [141], soit à partir des modalités de vérification définies par différents référentiels techniques [125f], [140].

Note : Sous réserve que les caractéristiques mécaniques au droit d'un piquage soient égales ou supérieures à celles de la tuyauterie, les efforts générés resteront en général acceptables si les distances définies par le Tableau 2.3.2.1 sont respectées [138].



Figure 2.3.2.4-1



Figure 2.3.2.4-2

2.3.3 - Détermination de la réponse sismique par analyse statique équivalente (Procédure 4)

Cette analyse consiste à appliquer à la tuyauterie modélisée sous forme numérique (modèle de type éléments finis par exemple) des forces proportionnelles aux masses des différents éléments [9a § 5.3.1]. Les modèles de calcul doivent être suffisamment représentatifs et notamment il peut être nécessaire de prendre en compte dans ces modèles la flexibilité des équipements auxquels la tuyauterie est raccordée ou des structures supportant la tuyauterie (racks...) [137a § 5.2, 5.3, 5.4, 5.5].

Si la première fréquence propre est déterminée, l'accélération à prendre en compte est directement obtenue à partir des spectres sismiques. Dans le cas contraire, il convient, pour déterminer les moments de flexion, les flèches et les réactions, d'utiliser les valeurs maximum des spectres de réponse [9a § 5.3.1].

Note : Dans le cadre du présent guide, la prise en compte d'un coefficient d'interaction modale (égal en général à 1,5 [125]) n'est pas exigée.

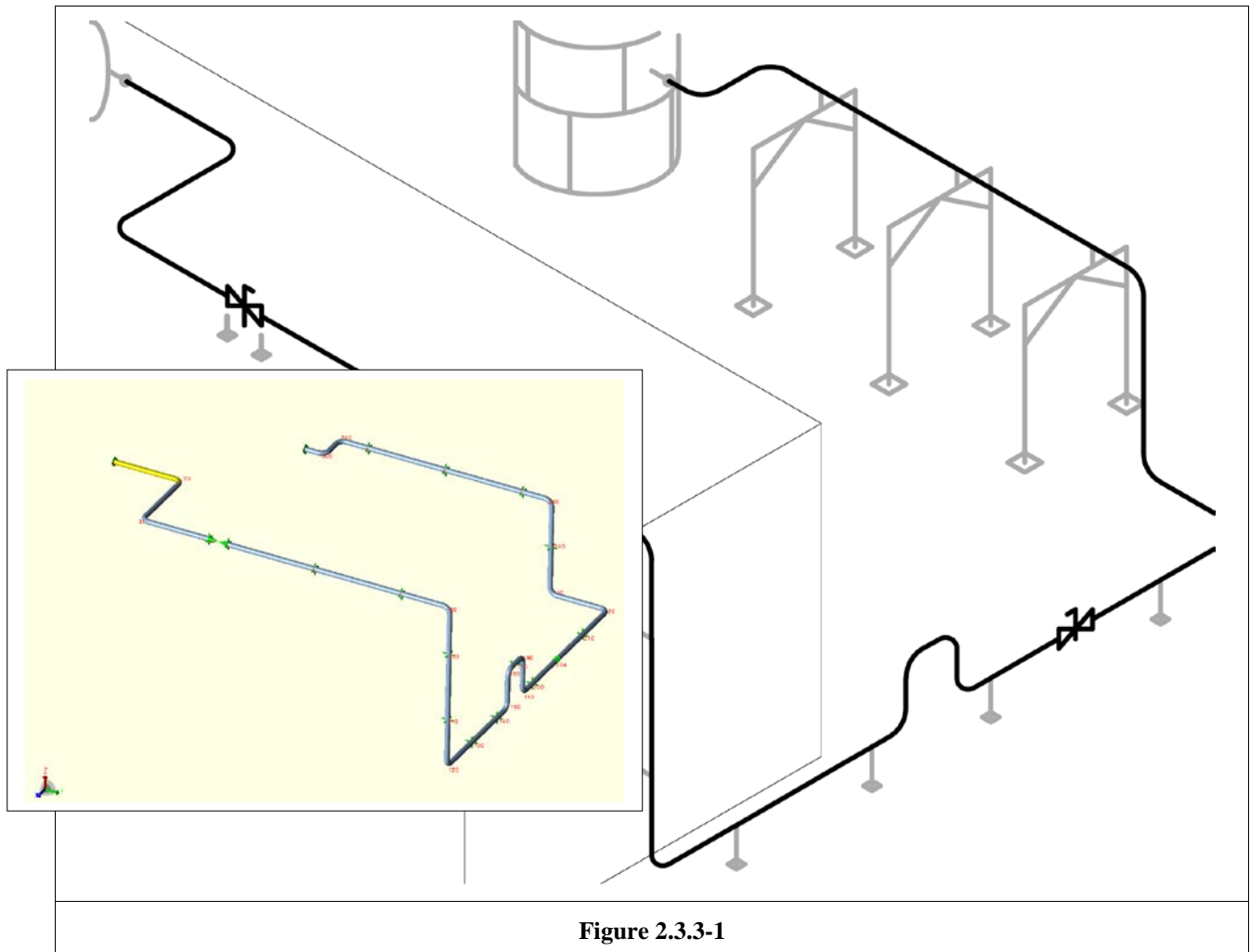
Les moments, flèches et réactions ainsi déterminés permettent alors de réaliser les vérifications requises au § 2.1.

2.3.4 - Détermination de la réponse sismique en base modale à partir de spectres de réponse (Procédure 5)

Cette analyse consiste à déterminer les caractéristiques dynamiques intrinsèques (fréquences et modes propres) de la tuyauterie modélisée sous forme numérique (modèle de type éléments finis par exemple) puis à partir des spectres de réponse, à calculer la réponse modale spectrale de cette tuyauterie. Les modèles de calcul doivent être suffisamment représentatifs et notamment il peut être nécessaire de prendre en compte dans ces modèles la flexibilité des équipements auxquels la tuyauterie est raccordée ou des structures supportant la tuyauterie (racks...) [137a § 5.2, 5.3, 5.4, 5.5].

Ces calculs supposent que la base modale retenue pour les calculs de réponse est suffisamment représentative du comportement dynamique de la tuyauterie (somme des masses effective supérieure à 90% de la masse totale) ou que les modes résiduels nécessaires sont pris en compte dans les calculs de réponse.

Les moments, flèches et réactions ainsi déterminés permettent alors de réaliser les vérifications requises au § 2.1.



3 - TUYAUTERIES ENTERRÉES

Pour les tuyauteries enterrées, il est recommandé de se reporter à la référence [137b] et à la référence [136] :

Guide méthodologique pour évaluer et assurer la tenue au séisme des canalisations de transport enterrées en acier
AFPS Cahier Technique n°15-2013J 2013.

Les analyses et méthodologies proposées par ce Cahier Technique en cours d'élaboration, bien que destinées initialement aux canalisations de transport, peuvent être utilisées dans le cas des tuyauteries industrielles objet du présent guide.

4 - ROBINETTERIE [137c]

4.1 - Introduction

Compte tenu de la très grande diversité des équipements susceptibles d'être installés sur des lignes de tuyauteries, il est difficile d'établir des règles générales couvrant toutes les situations envisageables.

Toutefois, en fonction des conditions à respecter (§ 1.1) retenues par le Donneur d'ordre ou l'Exploitant, des exigences spécifiques relatives d'une part à la prise en compte de l'équipement lors de l'évaluation du comportement de la tuyauterie et d'autre part à l'équipement proprement dit sont précisées ci-après.

4.1.1 – Lorsque seul le maintien en place de la tuyauterie considérée (stabilité) est requis :

Pour ces conditions, la masse de l'équipement installé sur la tuyauterie et l'éventuelle excentricité d'une partie de cette masse (Note) doivent être pris en compte lors de la vérification de la résistance de la tuyauterie (par exemple § 2.3.2.1).

De manière générale, pour un grand nombre d'équipements installés sur les lignes, il n'est pas nécessaire de justifier leur tenue mécanique compte tenu de leur compacité et de leur robustesse (Figures 4.1-5 et suivantes). Toutefois, notamment pour les composants excentrés des équipements, lorsque des vérifications s'avèrent nécessaires (Figure 4.1-3 : vérification des liaisons des composants de la motorisation, brides notamment ; Figure 4.1-4 : vérification des colonnettes de supportage de la motorisation), celles-ci peuvent être réalisées par des calculs simples de résistance des matériaux. Pour ces vérifications la contrainte admissible peut être prise égale au maximum à $1,8 f_{chaud}$ (voir A1.1).

Note : Il s'agit notamment des organes de manœuvre manuels (Figure 4.1-1 & -2), pneumatiques (Figure 4.1-4) ou motorisés (Figure 4.1-3). A cet égard il est recommandé que l'excentricité du centre de gravité de ces organes soit distant de l'axe de la tuyauterie au maximum de 1 m pour une ligne de diamètre inférieur ou égal à 100 mm et 1,5 m pour les diamètres supérieurs.

4.1.2 – Lorsque le maintien en place de la tuyauterie considérée & le confinement du produit manipulé à l'intérieur de la tuyauterie (intégrité) sont requis.

Pour ces conditions, en complément aux exigences ci-dessus, il convient, pour les assemblages non permanents (Figure 4.1-12) de s'assurer de l'absence de fuite ou de statuer quant à l'acceptabilité d'une fuite éventuelle (voir Note 2 de la 2^e puce du § 1.1).

4.1.3 – Lorsque le maintien en place de la tuyauterie, le confinement du produit manipulé à l'intérieur de la tuyauterie & le maintien des capacités fonctionnelles de la tuyauterie considérée sont requis :

Les exigences des deux points précédents doivent être respectées, avec, lorsque des calculs s'avèrent nécessaires, une contrainte admissible égale au maximum à $1,5 f_{chaud}$ (voir A1.1).

4.1.4 – Lorsque le maintien en place de la tuyauterie, le confinement du produit manipulé à l'intérieur de la tuyauterie, le maintien des capacités fonctionnelles de la tuyauterie considérée & le maintien de l'opérabilité de tout ou partie des organes d'exploitation de la tuyauterie (vannes, robinets...) sont requis.

Les exigences des points précédents doivent être respectées, avec, lorsque des calculs s'avèrent nécessaires, une contrainte admissible égale au maximum à $1,3 f_{chaud}$ (voir A1.1).

Lorsqu'une vanne doit assurer une fonction de sécurité, et qu'elle est à sécurité positive (mise en position de sécurité par manque d'énergie. Par exemple : OMA : Ouverture par Manque d'Air, OME : Ouverture par Manque d'Electricité ou FMA : Fermeture par Manque d'Air, FME : Fermeture par Manque d'Electricité) ou lorsqu'un document de qualification au séisme de la vanne provenant du Fournisseur est disponible, alors il convient de considérer que la vanne répond aux exigences réglementaires sans autre justification. Cette absence de justification est acceptable sous réserve que la vanne soit d'une forme compacte. Dans le cas contraire (équipement présentant un fort élanement : Note du § 4.1.1) les vérifications mentionnées au paragraphe 4.1.1 précédent sont à effectuer.

Pour les autres équipements, lorsque la justification de l'opérabilité d'un équipement est requise et en l'absence de documents de qualification provenant du fournisseur de l'équipement ou de retour d'expérience significatif [138], l'évaluation du comportement des composants mécaniques par calcul, notamment des organes mobiles, peut être envisagée mais uniquement pour les équipements les plus simples et les plus compacts (Figure 4.1-5 à Figure 4.1-9).

Pour les équipements les plus critiques et le cas échéant pour les composants électriques et toujours en l'absence de documents de qualification provenant du fournisseur de l'équipement, l'opérabilité de l'équipement considéré ou du composant considéré peut être justifiée par essai(s) statique(s) ou dynamique (s) [9a § 5.3.3], [137a § 6.3], (Figure 4.1-13 à Figure 4.1-15).

Note : Les situations particulières correspondant à la mise en position de repli sûre doivent être évaluées au cas par cas afin de statuer quant à la nécessité de justifier de l'opérabilité de l'équipement. Il est rappelé toutefois que la fermeture rapide d'un organe d'isolement peut conduire à des suppressions qui devront alors être le cas échéant prises en compte dans la vérification au séisme.



Figure 4.1-1



Figure 4.1-2



Figure 4.1-3

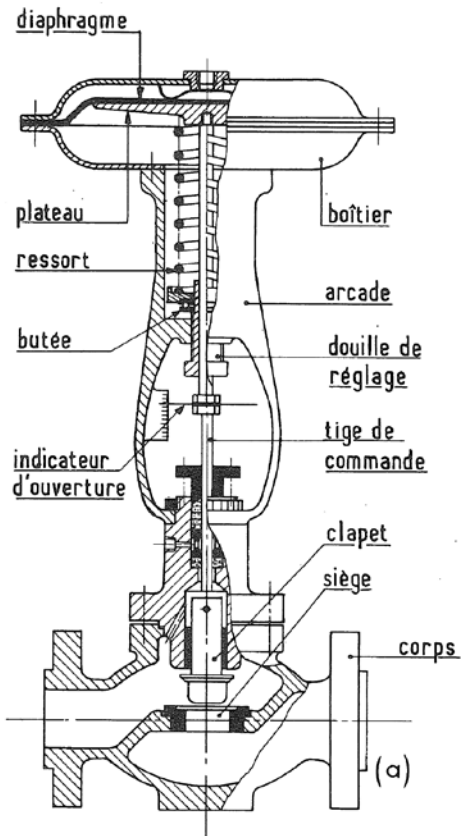


Figure 4.1-4

Robinet-vanne (à portage parallèle) / Gate valve

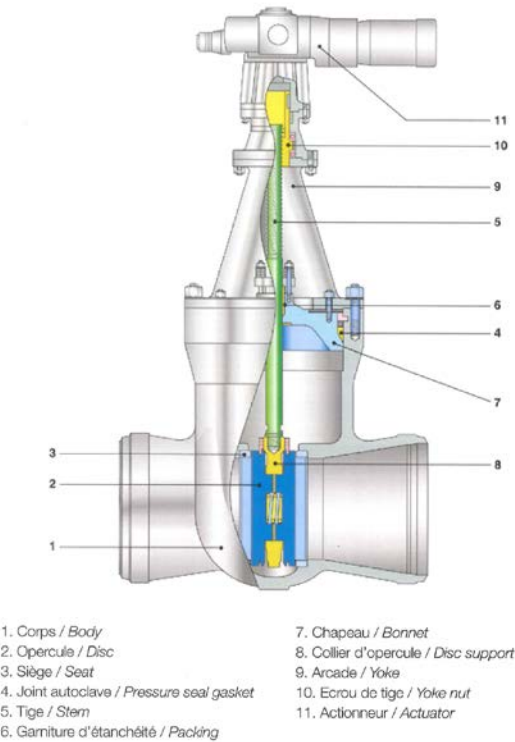


Figure 4.1-5 [144]

Robinet à soupape / Globe valve

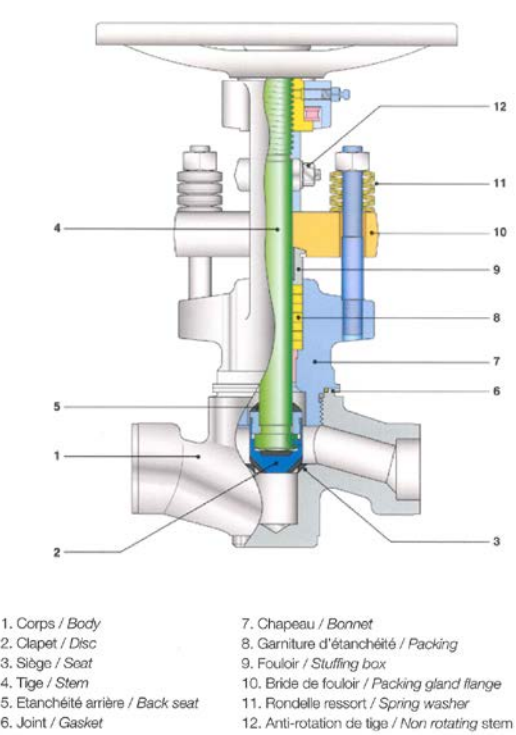


Figure 4.1-6 [144]

Clapet à battant / Globe valve

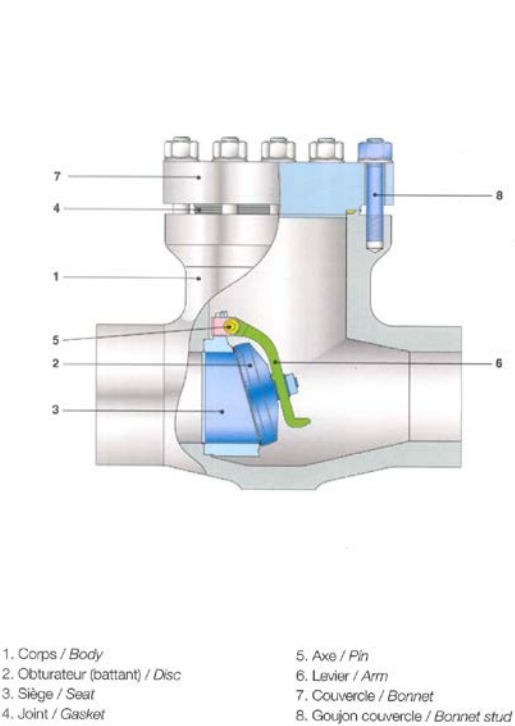


Figure 4.1-7 [144]

Robinet à papillon centré / Butterfly valve

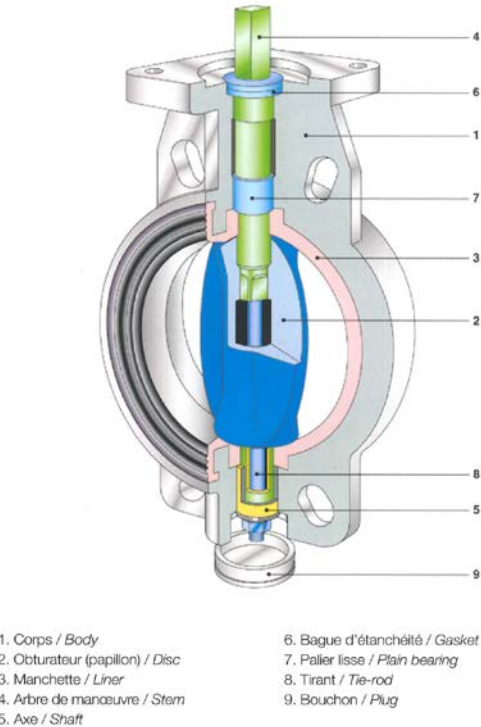
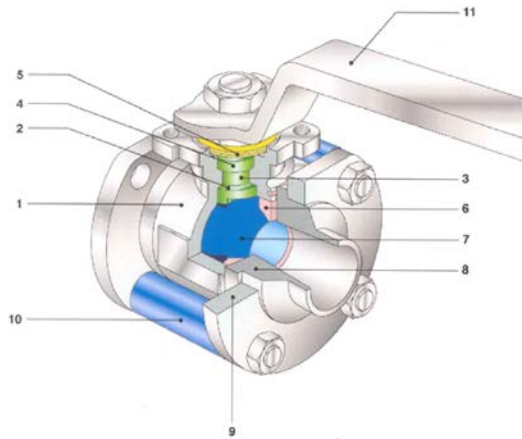


Figure 4.1-8 [144]

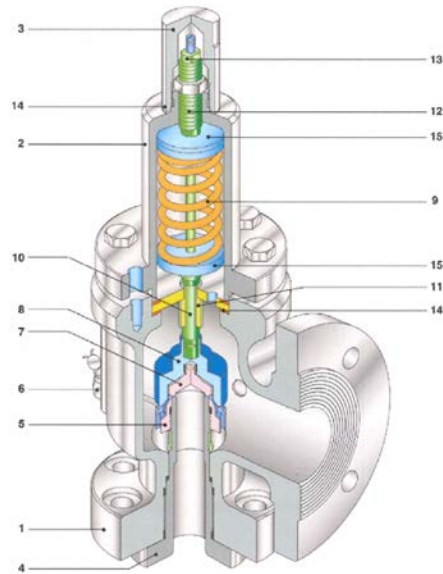
Robinet à tournant sphérique 3 pièces / Ball valve



- | | |
|---|----------------------------------|
| 1. Corps / Body | 7. Tournant sphérique / Ball |
| 2. Rondelle de friction / Stem thrust seal | 8. Embout libre / Loose end |
| 3. Tige de manœuvre / Stem | 9. Bride tournante / Flanged end |
| 4. Garniture de presse-étoupe / Gland packing | 10. Entretoise / Spacer |
| 5. Rondelle ressort / Spring washer | 11. Levier / Handle |
| 6. Siège / Seat | |

Figure 4.1-9 [144]

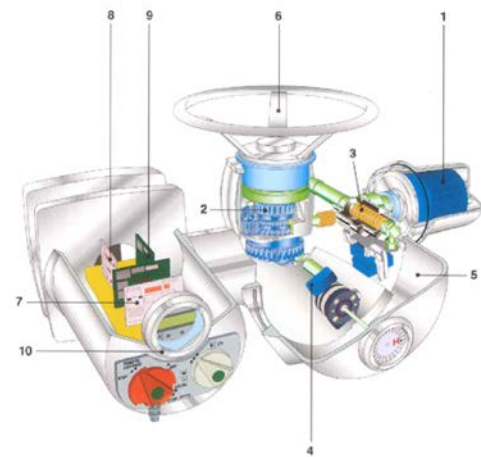
Soupape de sûreté à action directe / Safety valve



- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Corps / Body | 9. Ressort / Spring |
| 2. Chapeau / Bonnet | 10. Tige / Spindle |
| 3. Bouchon / Cap | 11. Guide / Guide |
| 4. Buse / Nozzle | 12. Vis de réglage / Adjusting screw |
| 5. Bague de réglage / Adjusting ring | 13. Ecrou / Nut |
| 6. Vis d'arrêt / Adjusting ring pin | 14. Joint / Gasket |
| 7. Clapet / Disc | 15. Rondelle ressort / Spring washer |
| 8. Porte clapet / Disc holder | |

Figure 4.1-10 [144]

Actionneur électrique / Actuator



- | | |
|--|---|
| 1. Moteur / Motor | 6. Commande manuelle / Handwheel |
| 2. Chaîne cinématique / Main drive | 7. Carte de contrôle / Logic board |
| 3. Capteur de couple / Torque sensor | 8. Positionneur / Position board |
| 4. Capteur de position / Position sensor | 9. Bus de terrain / Field bus |
| 5. Enveloppe / Enclosure | 10. Communication interactive / Interactive communication |

Figure 4.1-11 [144]

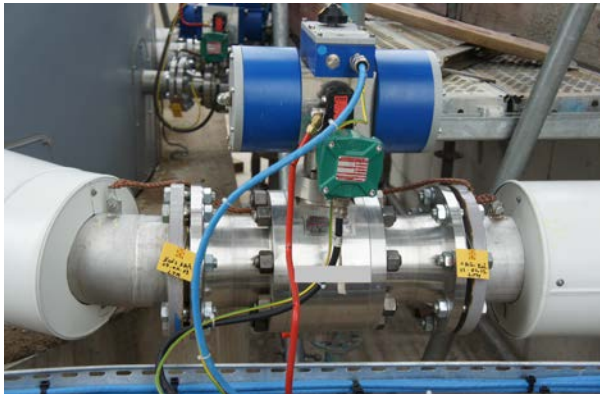


Figure 4.1-12-a



Figure 4.1-12-b



Figure 4.1-13 [149]



Figure 4.1-14 [149]



Figure 4.1-15 [149]

5 - RÉFÉRENCES

- [1] Arrêté du 10 mai 2000 relatif à la prévention des accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation
- [2a] Arrêté du 4 octobre 2010 relatif à la prévention des risques accidentels au sein des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation (JO du 16 novembre 2010)
- [2b] Arrêté du 4 octobre 2010 + mise à jour de l'Arrêté du 19 juillet 2011 (JO du 5 août 2011)
- [2c] Projet de modification de l'arrêté du 4 octobre 2010
- [3] Décret n° 2010-1254 du 22 octobre 2010 relatif à la prévention du risque sismique (JO du 24 octobre 2010)
- [4] Décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français (JO du 24 octobre 2010)
- [5] Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal » (JO du 24 octobre 2010)
- [6] Arrêté du 24 janvier 2011 fixant les règles parasismiques applicables à certaines installations classées (JO du 31 mars 2011) + (rectificatif) (JO du 9 avril 2011)
- [7] Projet d'arrêté relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux canalisations, tuyauteries, silos, réservoirs, structures hautes et élancées de la classe dite « à risque normal »
- [8] *Référence non utilisée*
- [9a] Guide « séisme » : Méthodologie générale – mise en application de la section II (Dispositions relatives aux règles parasismiques applicables à certaines installations) de l'arrêté du 4 octobre 2010 modifié
- [9b] Guide « séisme » : Réservoirs de stockage
- [9c] Guide « séisme » : Structures support
- [10] Décret n° 91-461 du 14 mai 1991 relatif à la prévention du risque sismique
- [11] Arrêtés du 10 mai 1993 fixant les règles parasismiques applicables aux installations soumises à la législation sur les installations classées
- [12] Arrêtés du 29 mai 1997 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la catégorie dite à *risque normal*.
- [13] à [14] *Références non utilisées*
- [15a] NF EN 1998-1 (Septembre 2005) Eurocode 8 - Calcul des structures pour leur résistance aux séismes - Partie 1 : Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments
- [15b] NF EN 1998-1/NA (Décembre 2007) Eurocode 8 - Calcul des structures pour leur résistance aux séismes - Partie 1 : règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments - Annexe nationale à la NF EN 1998-1 : 2005 - Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments
- [16] *Référence non utilisée*
- [17] Décret no 99-1046 du 13 décembre 1999 relatif aux équipements sous pression
Modifié par les décrets n° 2003-1249 du 22 décembre 2003 et 2003-1264 du 23 décembre 2003
- [18] Arrêté du 15 mars 2000 relatif à l'exploitation des équipements sous pression
(modifié par les Arrêtés des 13 Octobre 2000, 30 Mars 2005 et 31 Janvier 2011)
- [19] à [27] *Références non utilisées*
- [28a] NF EN 1998-4 (Mars 2007) Eurocode 8 Calcul des structures pour leur résistance aux séismes
Partie 4 : Silos, réservoirs et canalisations

- [28b] NF EN 1998-4/NA (Janvier 2008) Eurocode 8 - Calcul des structures pour leur résistance aux séismes - Partie 4 : Silos, réservoirs et canalisations Annexe Nationale à la NF EN 1998-4 : 2007 Silos, réservoirs et canalisations
- [29] à [64] *Références non utilisées*
- [65] FEMA E-74
Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage
A Practical Guide, Fourth Edition January 2011
- [66] Rapport intermédiaire Opération a : synthèse sur les risques dus aux séismes, inondations, mouvements de terrain et tempêtes - accidentologie
INERIS Rapport d'étude n° DRA-13
Direction des Risques Accidentels Novembre 2001
- [67] à [124] *Références non utilisées*
- [125a] CODE S.N.C.T Tuyauteries industrielles Divisions T1 à T3 1982
- [125b] CODETI CODE S.N.C.T Tuyauteries – Code français de construction des tuyauteries industrielles 1991
- [125c] CODETI CODE S.N.C.T Tuyauteries – Code français de construction des tuyauteries industrielles 1995
- [125d] CODETI 2001 - Code de construction des tuyauteries industrielles
- [125e] CODETI Division 1 : 2006 - Code de construction des tuyauteries industrielles
- [125f] CODETI Division 1 : 2013 - Code de construction des tuyauteries industrielles
- [126] ASME B31.1 Power piping
- [127] ASME B31.3 Process piping
- [128] Align mechanical and civil structural earthquake design and qualification rules for ASME B31 piping systems and pipelines
ASME STP-PT-052
- [129] NF EN 13480 Parties 1 à 6 : Tuyauteries industrielles métalliques
- [130] O.Azizpour, M.Hosseini
A verification study of ASCE recommended guidelines for seismic evaluation and design of combination structures in petrochemical facilities
Journal of applied sciences 9(20) 2009
- [131] C.A.Davis, J.P.Bardet
Seismic Analysis of Large-Diameter Flexible Underground Pipes
Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering October 1998
- [132] G. Antaki
Part I : Seismic retrofit of critical piping systems (Above ground piping)
Part II : Seismic design of critical piping systems (Above ground piping)
Workshop on the Mitigation of Earthquake Disasters by Advanced Technologies (MEDAT)
November 30 – December 1, 2000 Las Vegas
- [133] Benchmark sur les tuyauteries en raffinerie
Maîtrise du vieillissement des installations industrielles
DRA 71 – Opération A4 DRA 73 – Opération C2.1
Rapport d'étude DVM-10-102957-08343B INERIS Février 2010

- [134] Guide Technique Professionnel Pour l'inspection des tuyauteries en exploitation
UIC UFIP AFCG DT 96 Janvier 2012
- [135] Guide de Surveillance des Ouvrages de Génie Civil et Structures
UIC UFIP DT 98 Avril 2012
- [136] Guide méthodologique pour évaluer et assurer la tenue au séisme des canalisations de transport enterrées en acier
AFPS Cahier Technique n°15-2013J 2013
- [137a] Seismic Design and Retrofit of Piping Systems
American Lifelines Alliance ASCE/FEMA July 2002
- [137b] Guidelines for the Design of Buried Steel Pipe
American Lifelines Alliance ASCE/FEMA July 2001
- [137c] Guide for Seismic Evaluation of Active Mechanical Equipment
American Lifelines Alliance ASCE/FEMA October 2004
- [138] Seismic Evaluation procedure for Equipment in US Department of Energy Facilities
DOE/EH-0545 Mars 1997 US Department of Energy
- [139] Guidelines for Seismic Evaluation and Design of petrochemical Facilities
ASCE - 2nd Edition - 2011
- [140] CODAP Division 1 & 2 : 2010 Code de construction des Appareils à pression non soumis à l'action de la flamme
- [141] NF CR 13931 Décembre 2000
Forces et moments applicables aux brides
Pompes centrifuges, hélico-centrifuges et hélices à axes horizontal et vertical
- [142] A.Bonnefoy, P.d'Anthouard, J.F.Billaud
Seismic analysis of equipment subjected to multiple support response spectra input
VII Symposium on Earthquake Engineering, University of Roorkee India November 1982
- [143] O.Azizpour, M.Hosseini
A Verification Study of ASCE Recommended Guidelines for Seismic Evaluation and Design of Combination Structures in Petrochemical Facilities.: 3609-3628
Journal of Applied Sciences, 9 - 2009.
- [144] Guide de la Robinetterie Industrielle
PROFLUID - Association française des pompes et agitateurs, des compresseurs et de la robinetterie
- [145] BS 3974 Specification for Pipe supports
Part 1 : 1974 Pipe hangers, slider and roller type supports
Part 2 : 1978 Pipe clamps, cages, cantilevers and attachments to beams
Part 3 : 1980 Large bore, high temperature, marine and other applications
- [146] Supportage Standard 2010
Catalogue Lisega Edition 2001
- [147] MSS SP-58-2009
Pipe Hangers and Supports

- [148] MSS SP-127-2014A
Bracing for Piping Systems : Seismic – Wind – Dynamic design, Selection, and Application
- [149a] Seismic Analysis of Large-Scale Piping Systems for the JNES-NUPEC Ultimate Strength Piping Test Program
U.S. NRC NUREG/CR-6983 BNL-NUREG-81548-2008
- [149b] Analysis of JNES Seismic Tests on Degraded Piping
U.S. NRC NUREG/CR-7015 BNL-NUREG-91346-2010
- [150] UFIP 1997
Fiches Guides Séismes EDF/SEPTEN
- [151] ASME B31E 2008 & B21Ea 2010
Standard for the Seismic Design and Retrofit of Above Ground Piping Systems
- [152] ASME B31G 2012
Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines
- [153] Fabrizio Paolacci, Md. Shahin Reza, Oreste S. Bursi, Arnold M. Gresnigt
Main issues on the seismic design of industrial piping systems and components
ASME 2013 Pressure Vessels and Piping Conference July 14-18, 2013, Paris, France

ANNEXE 1

Vérification des contraintes longitudinales

A1.1 - Exigences générales

Lorsque la tuyauterie considérée est soumise au séisme, les contraintes longitudinales déterminées par l'une ou l'autre des méthodes retenues au § 3.1 doivent respecter, au minimum, les exigences ci-après.

La somme des contraintes primaires, σ_1 , due à la pression intérieure, p , et au moment résultant, M_A , généré par le poids et les autres charges permanentes d'origine mécanique doit satisfaire l'équation suivante :

$$\sigma_1 = \frac{p D_o}{4 e_f} + \frac{0,75 i M_A}{Z} \leq f_{\text{chaud}} \quad (\text{A1.1-1})$$

La somme des contraintes primaires, σ_2 , due à la pression intérieure, p , au moment résultant, M_A , généré par le poids et les autres charges permanentes d'origine mécanique et au moment résultant, M_B , généré par les charges occasionnelles ou exceptionnelles doit satisfaire l'équation suivante :

$$\sigma_2 = \frac{p D_o}{4 e_f} + \frac{0,75 i M_A}{Z} + \frac{0,75 i M_B}{Z} \leq k f_{\text{chaud}} \quad (\text{A1.1-2})$$

où :

f_{chaud} = Contrainte admissible à la température de service pour la situation considérée

M_B = Moment résultant dû aux charges exceptionnelles. Ce moment doit être déterminé pour la combinaison des charges suivantes la plus défavorable :

- charges dues au vent normal,
- charges dues à la neige normale,
- charges sismiques.

Les effets des déplacements d'ancrage dus au séisme peuvent être exclus s'ils sont inclus dans l'équation A1.1-2.

Sauf spécification contraire, les charges dues à la neige et au vent ne s'appliquent pas simultanément.

i = Coefficient d'intensification de contrainte [125 : Section C10]

k = 1,8 lorsque seul le maintien en place de la tuyauterie considérée est requis ou lorsque le maintien en place de la tuyauterie considérée et le confinement du produit manipulé à l'intérieur de la tuyauterie sont exigés

= 1,5 lorsque le maintien en place de la tuyauterie, le confinement du produit manipulé à l'intérieur de la tuyauterie ainsi que le maintien des capacités fonctionnelles de la tuyauterie considérée sont exigés

= 1,3 lorsque le maintien en place de la tuyauterie, le confinement du produit manipulé à l'intérieur de la tuyauterie, le maintien des capacités fonctionnelles de la tuyauterie considérée ainsi que le maintien de l'opérabilité de tout ou partie des organes d'exploitation de la tuyauterie sont exigés

p = Pression de service pour la situation considérée

Z = Module d'inertie de la section considérée

A1.2 – Exemption d’analyse

Les valeurs d’exemption du Tableau 2.3.1.1-1 sont déterminées conformément à la procédure suivante :

- Contrainte circonférentielle maximum dans un tube droit :

$$\sigma_c = \frac{p D_o}{2 e_f} \leq f_{\text{chaud}} \quad (\text{A1.2-1})$$

- Contrainte longitudinale maximum dans un tube droit :

$$\sigma_l = \frac{\sigma_c}{2} = \frac{p D_o}{4 e_f} \leq \frac{f_{\text{chaud}}}{2} \quad (\text{A1.2-2})$$

où :

D_o = Diamètre extérieur du tuyau

p = Pression de calcul

e_f = Épaisseur du tuyau, épaisseur de corrosion éventuelle déduite

f_{chaud} = Contrainte admissible pour la situation considérée à la température de calcul

- La somme des contraintes primaires, σ_1 , due à la pression intérieure, p , et au moment résultant, M_A , généré par le poids et les autres charges permanentes d'origine mécanique doit satisfaire l'équation suivante :

$$[125] \text{ équation C10.3.2} : \sigma_1 = \frac{p D_o}{4 e_f} + \frac{0,75 i M_A}{Z} \leq f_{\text{chaud}} \quad (\text{A1.2-3})$$

- Compte tenu de (A1.2-2) et pour une charge linéique correspondant à l'accélération de la pesanteur de 1 g :

$$\frac{0,75 i M_A}{Z} \leq \frac{f_{\text{chaud}}}{2} \quad (\text{A1.2-4})$$

- La somme des contraintes primaires, σ_2 , due à la pression intérieure, p , au moment résultant, M_A , généré par le poids et les autres charges permanentes d'origine mécanique et au moment résultant, M_B , généré par les charges occasionnelles ou exceptionnelles doit satisfaire l'équation suivante :

$$[125] \text{ équation C10.3.3} : \sigma_2 = \frac{p D_o}{4 e_f} + \frac{0,75 i M_A}{Z} + \frac{0,75 i M_B}{Z} \leq k f_{\text{chaud}} \quad (\text{A1.2-5})$$

- Compte tenu des équations (A1.2-3) et de (A1.2-4), on obtient :

$$\frac{0,75 i M_B}{Z} \leq (k - 1) f_{\text{chaud}} \quad (\text{A1.2-6})$$

- Le moment M_A est dû à une charge linéique générée par une accélération de 1 g avec une valeur maximum de la contrainte correspondante égale à $0,5 f_{\text{chaud}}$. Le moment M_B est dû à une charge linéique générée par une accélération sismique $\gamma_s = \sqrt{(\gamma_h)^2 + (\gamma_v)^2}$ avec une valeur maximum de la contrainte correspondante égale à $(k - 1) f_{\text{chaud}}$.

Donc, en fonction du coefficient k , ces deux équations permettent de définir l'accélération résultante γ_s .

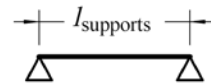
ANNEXE 2

Détermination de la distance maximale entre supports

A2.1 - Tronçon droit appuyé-appuyé



Matériau	NF EN 10216-2		
Pression de service	p =	120 bar	
Température de service		20,00 °C	
Limite d'élasticité à la temp. de service	R _{p,t} =	255,00 MPa	
Résistance à la traction	R _m =	410,00 MPa	
Contrainte admissible	f _{chaud} =	170,00 MPa	
Module d'élasticité du matériau	E =	2,10E+11 Pa	
Masse volumique du matériau	m _{vol_mat} =	7 800,00 kg/m3	
Diamètre extérieur	D _{ext} =	711,00 mm	
Diamètre intérieur	D _{int} =	661,00 mm	
Epaisseur minimale requise [125f] § C2.2.2		24,24 mm	
Epaisseur de commande	e =	25,00 mm	
Moment d'inertie	$I = \frac{\pi}{64} (D_{ext}^4 - D_{int}^4)$	I =	3,17E-03 m4
Module de section	$Z = I \frac{2}{D_{ext}}$	Z =	8,93E-03 m3
Fluide transporté		eau	
Masse volumique du fluide	m _{vol_flu} =	1 000,00 kg/m3	
Masse linéique du calorifuge	m _{lin_cal} =	0,00 kg/m	
Masse linéique de la tuyauterie pleine	m _{lin_tuy} =	763,41 kg/m	
Masse linéique du fluide seul		343,16 kg/m	
Accélération de la pesanteur	g =	9,81 m/s2	
Type de support		Appuis	
Nombre de portée(s)		1	
Distance maximale entre supports	l _{supports} =	18,50 m	

1° fréquence propre

$$f = \frac{\alpha}{2\pi} \sqrt{\frac{E}{m_{lin, tuy}} \frac{I}{J_{supports}^4}}$$

$$\alpha = 9,87$$

$$f = 4,29 \text{ Hz}$$

Note : Les fréquences et modes propres dans les directions horizontale (sens travers) et verticale sont identiques



GUIDE SEISME - TUYAUTERIE & ROBINETTERIE
Configuration 1A : Tronçon simple horizontal appuyé-appuyé

Page 2
17/03/14

Période	F G	0,2332	0,2332
Zone de sismicité	1 à 5	5	
Classe de sol	A à E	E	
Équipement neuf = 1	Équipement en service = 2	1	
Arrêté applicable = 1	Projet d'arrêté = 2	2	
Amortissement (%)		5	
Coefficient de réduction	Spectre horizontal	1	1,5
Coefficient de réduction	Spectre vertical	1	1,5

Détermination des accélérations

Spectre de réponse élastique

Accélération sismique horizontale

γ_h (m/s²) = 23,10

Accélération sismique verticale

γ_v (m/s²) = 15,84

Spectre de calcul pour l'analyse élastique

Accélération sismique horizontale

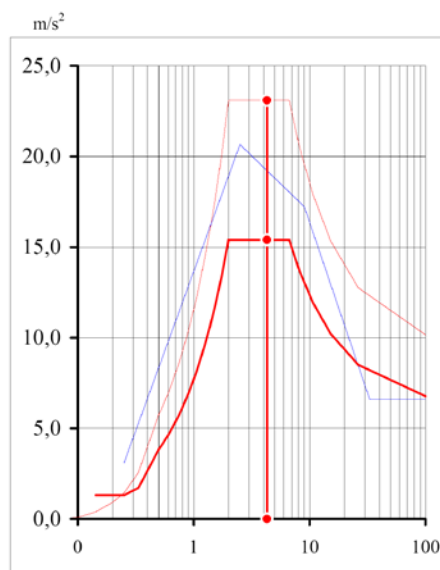
γ_{ch} (m/s²) = 15,40

Accélération sismique verticale

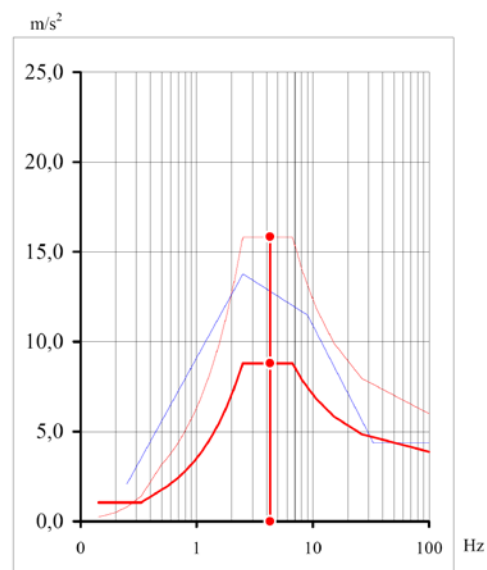
γ_{cv} (m/s²) = 8,80

$ghg =$	6,60	$TBH =$	0,15	$TBV =$	0,15
$gvg =$	5,28	$TCH =$	0,50	$TCV =$	0,40
		$TDH =$	2,00	$TDV =$	2,00
$Csol =$	1,40	$TEH =$	6,00		
		$TFH =$	10,00		

4,2883	0,0000	4,2883	0,0000
4,2883	15,4000	4,2883	15,84
4,2883	23,1000	4,2883	8,8000



Spectre horizontal

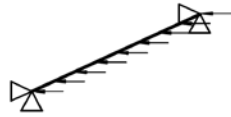


Spectre vertical

Efforts dus au séisme

Force linéique horizontale

Spectre de réponse élastique



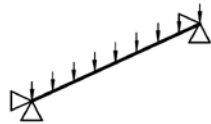
$$q_{sh} = m_{lin, tuy} \gamma_h \quad q_{sh} = 17\,634,72 \text{ N/m}$$

Spectre de calcul pour l'analyse élastique

$$q_{sch} = m_{lin, tuy} \gamma_{ch} \quad q_{sch} = 11\,756,48 \text{ N/m}$$

Force linéique verticale

Spectre de réponse élastique



$$q_{sv} = m_{lin, tuy} \gamma_v \quad q_{sv} = 12\,092,38 \text{ N/m}$$

Spectre de calcul pour l'analyse élastique

$$q_{scv} = m_{lin, tuy} \gamma_{cv} \quad q_{scv} = 6\,717,99 \text{ N/m}$$

Moment maximum dû à la force linéique horizontale

(au centre de la portée)

Spectre de réponse élastique

$$M_{sqh} = km \ q_{sh} \ l_{supports}^2 \quad km = 0,125 \quad M_{sqh} = 754\,435,37 \text{ N.m}$$

Spectre de calcul pour l'analyse élastique

$$M_{scqh} = km \ q_{sch} \ l_{supports}^2 \quad M_{scqh} = 502\,956,92 \text{ N.m}$$

Moment maximum dû à la force linéique verticale

(au centre de la portée)

Spectre de réponse élastique

$$M_{sqv} = km \ q_{sv} \ l_{supports}^2 \quad km = 0,125 \quad M_{sqv} = 517\,327,11 \text{ N.m}$$

Spectre de calcul pour l'analyse élastique

$$M_{scqv} = km \ q_{scv} \ l_{supports}^2 \quad M_{scqv} = 287\,403,95 \text{ N.m}$$

Moment maximum dû au poids propre
de la tuyauterie

(au centre de la portée)

$$M_{pdsv} = km \ m_{lin, tuy} \ g \ l_{supports}^2 \quad km = 0,125 \quad M_{pdsv} = 320\,390,09 \text{ N.m}$$



[125f] C10.3.2 Vérification de la somme des contraintes primaire dues aux charges permanentes

$$\sigma_1 = \frac{p D_{ext}}{4 e} + \frac{0,75 i M_{pds}}{Z} \leq f_{chaud}$$

f_chaud = 170,00 MPa
 $\sigma_1 = 112,24 \text{ MPa}$
Acceptable

[125f] C10.3.3 Vérification de la somme des contraintes primaire dues aux charges permanentes et aux charges exceptionnelles (Spectre de calcul pour l'analyse élastique)

$$\sigma_{2c} = \frac{p D_{ext}}{4 e} + \frac{0,75 i M_{pds}}{Z} + \frac{0,75 i \sqrt{(M_{scqh})^2 + (M_{scqv})^2}}{Z} \leq k f_{chaud}$$

Intensification de contrainte i = 1,00

Exploitation 1,3	Conf, + opé. 1,5	Confinement 1,8		k = 1,3
---------------------	---------------------	--------------------	--	---------

k f_chaud = 221,00 MPa
 $\sigma_{2c} = 160,91 \text{ MPa}$
Acceptable



GUIDE SEISME - TUYAUTERIE & ROBINETTERIE
Configuration 1A : Tronçon simple horizontal appuyé-appuyé

Page 5
17/03/14

Déplacements (Spectre de réponse élastique)

Déplacement horizontal maximal
du à la force linéique horizontale (au centre de la portée)

$$d_{sqh} = \frac{5 q_{sh} l_{\text{supports}}^4}{384 E I} \quad d_{sqh} = 40,36 \text{ mm}$$

Déplacement vertical maximal
du à la force linéique verticale (au centre de la portée)

$$d_{sqv} = \frac{5 q_{sv} l_{\text{supports}}^4}{384 E I} \quad d_{sqv} = 27,67 \text{ mm}$$

Flèche due au poids propre (au centre de la portée)

$$d_{pds} = \frac{5 m_{\text{lin, tuy}} g l_{\text{supports}}^4}{384 E I} \quad d_{pds} = 17,14 \text{ mm}$$

Déplacement horizontal maximal $d_{\text{maxh}} = 40,36 \text{ mm}$
 Déplacement vertical maximal $d_{\text{maxvh}} = 44,81 \text{ mm}$

Réaction maximum aux appuis (supports) (Spectre de réponse élastique)

Direction horizontale

$$R_{\text{maxh}} = km q_{sh} l_{\text{supports}} \quad km = 0,500 \quad R_{\text{maxh}} = 163\,121,16 \text{ N}$$

Direction verticale

$$R_{\text{maxv}} = km (q_{sv} + m_{\text{lin, tuy}} g) l_{\text{supports}} \quad R_{\text{maxv}} = 181\,128,04 \text{ N}$$

A2.2 – Tronçon droit appuyé-appuyé supportant un équipement

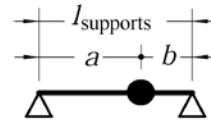


GUIDE SEISME - TUYAUTERIE & ROBINETTERIE
Configuration 1B : Tronçon simple horizontal appuyé-appuyé & Vanne

Page 1
17/03/14

Matériau	P265GH NF EN 10216-2 : 2002/12		
Pression de service	p =	120 bar	
Température de service		20,00 °C	
Limite d'élasticité à la temp. de service	R _{p,t} =	255,00 MPa	
Résistance à la traction	R _m =	410,00 MPa	
Contrainte admissible	f _{chaud} =	170,00 MPa	
Module d'élasticité du matériau	E =	2,10E+11 Pa	
Masse volumique du matériau	m _{vol_mat} =	7 800,00 kg/m3	
Diamètre extérieur	D _{ext} =	711,00 mm	
Diamètre intérieur	D _{int} =	661,00 mm	
Epaisseur minimale requise [125f] § C2.2.2		24,24 mm	
Epaisseur de commande	e =	25,00 mm	
Moment d'inertie	$I = \frac{\pi}{64} (D_{ext}^4 - D_{int}^4)$	I =	3,17E-03 m4
Module de section	$Z = I \frac{2}{D_{ext}}$	Z =	8,93E-03 m3
Fluide transporté			eau
Masse volumique du fluide	m _{vol_flu} =	1 000,00 kg/m3	
Masse linéique du calorifuge	m _{lin_cal} =	0 kg/m	
Masse linéique de la tuyauterie pleine	m _{lin_tuy} =	763,41 kg/m	
Masse linéique du fluide seul		343,16 kg/m	
Accélération de la pesanteur	g =	9,81 m/s2	
Type de support		Appuis	
Nombre de portée(s)		1	
Distance maximale entre supports	l _{supports} =	15,22 m	

1^o fréquence propre



$$\begin{aligned} a &= 7,61 \text{ m} \\ b &= 7,61 \text{ m} \end{aligned}$$

Masse du tronçon de tuyauterie
 Masse de l'équipement supporté

$$\begin{aligned} m_{tr} &= 11\,619,07 \text{ kg} \\ M_{eq} &= 2\,500,00 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\beta = 32,47 \frac{a^2 b^2}{l_{\text{supports}}^4} \frac{M_{eq}}{m_{tr}}$$

$$\beta = 0,4366$$

$$f = \frac{\alpha}{2\pi} \sqrt{\frac{E}{m_{tr}} \frac{I}{l_{\text{supports}}^3 (1 + \beta)}}$$

$$\alpha = 9,87$$

$$f = 5,29 \text{ Hz}$$

Note : Les fréquences et modes propres dans les directions horizontale (sens travers) et verticale sont identiques



GUIDE SEISME - TUYAUTERIE & ROBINETTERIE
Configuration 1B : Tronçon simple horizontal appuyé-appuyé & Vanne

Page 3
17/03/14

Période	F G	0,1892	0,1892
Zone de sismicité	1 à 5	5	
Classe de sol	A à E	E	
Equipement neuf = 1	Equipement en service = 2	1	
Arrêté applicable = 1	Projet d'arrêté = 2	2	
Amortissement (%)		5	
Coefficient de réduction	Spectre horizontal	1	1,5
Coefficient de réduction	Spectre vertical	1	1,5

Détermination des accélérations

Spectre de réponse élastique

Accélération sismique horizontale

γ_h (m/s²) = 23,10

Accélération sismique verticale

γ_v (m/s²) = 15,84

Spectre de calcul pour l'analyse élastique

Accélération sismique horizontale

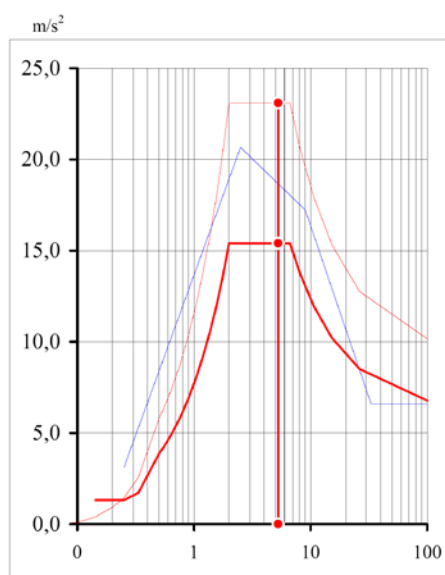
γ_{ch} (m/s²) = 15,40

Accélération sismique verticale

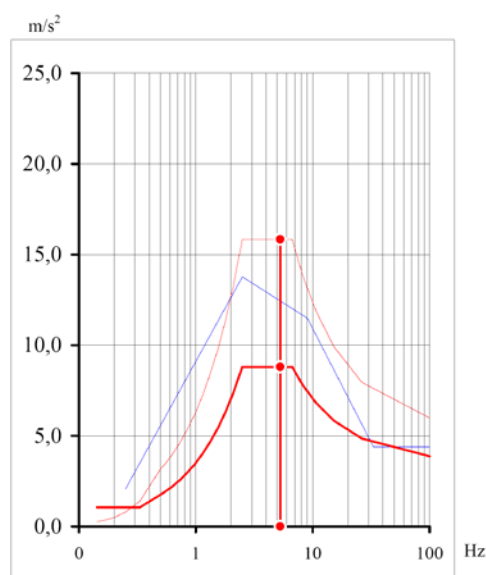
γ_{cv} (m/s²) = 8,80

$ghg =$	6,60	$TBH =$	0,15	$TBV =$	0,15
$gvg =$	5,28	$TCH =$	0,50	$TCV =$	0,40
		$TDH =$	2,00	$TDV =$	2,00
$Csol =$	1,40	$TEH =$	6,00		
		$TFH =$	10,00		

5,2859	0,0000	5,2859	0,0000
5,2859	15,4000	5,2859	15,84
5,2859	23,1000	5,2859	8,8000



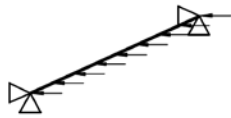
Spectre horizontal



Spectre vertical

Efforts dus au séisme

Force linéique horizontale

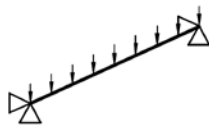
*Spectre de réponse élastique*

$$q_{sh} = m_{lin, tuy} \gamma_h \quad q_{sh} = 17\,634,72 \text{ N/m}$$

Spectre de calcul pour l'analyse élastique

$$q_{sch} = m_{lin, tuy} \gamma_{ch} \quad q_{sch} = 11\,756,48 \text{ N/m}$$

Force linéique verticale

*Spectre de réponse élastique*

$$q_{sv} = m_{lin, tuy} \gamma_v \quad q_{sv} = 12\,092,38 \text{ N/m}$$

Spectre de calcul pour l'analyse élastique

$$q_{scv} = m_{lin, tuy} \gamma_{cv} \quad q_{scv} = 6\,717,99 \text{ N/m}$$

Force ponctuelle horizontale

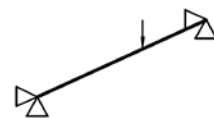
*Spectre de réponse élastique*

$$Q_{sh} = M_{eq} \gamma_h \quad Q_{sh} = 57\,750,00 \text{ N}$$

Spectre de calcul pour l'analyse élastique

$$Q_{sch} = M_{eq} \gamma_{ch} \quad Q_{sch} = 38\,500,00 \text{ N}$$

Force ponctuelle verticale

*Spectre de réponse élastique*

$$Q_{sv} = M_{eq} \gamma_v \quad Q_{sv} = 39\,600,00 \text{ N}$$

Spectre de calcul pour l'analyse élastique

$$Q_{scv} = M_{eq} \gamma_{cv} \quad Q_{scv} = 22\,000,00 \text{ N}$$

Efforts dus au séisme (suite)
Forces linéiques - Au centre de la portée

Moment du à la force linéique horizontale

Spectre de réponse élastique

$$M_{sqh} = km \ q_{sh} \ l_{supports}^2 \quad km = 0,125 \quad M_{sqh} = 510\ 631,84 \text{ N.m}$$

Spectre de calcul pour l'analyse élastique

$$M_{scqh} = km \ q_{sch} \ l_{supports}^2 \quad M_{scqh} = 340\ 421,23 \text{ N.m}$$

Moment du à la force linéique verticale

Spectre de réponse élastique

$$M_{sqv} = km \ q_{sv} \ l_{supports}^2 \quad km = 0,125 \quad M_{sqv} = 350\ 147,55 \text{ N.m}$$

Spectre de calcul pour l'analyse élastique

$$M_{scqv} = km \ q_{scv} \ l_{supports}^2 \quad M_{scqv} = 194\ 526,42 \text{ N.m}$$

Moment du au poids propre de la tuyauterie

$$M_{pds} = km \ m_{lin,tuy} \ g \ l_{supports}^2 \quad km = 0,125 \quad M_{pds} = 216\ 852,74 \text{ N.m}$$

Forces linéiques - Au droit de la charge ponctuelle

Moment du à la force linéique horizontale

Spectre de réponse élastique

$$M_{sqha} = \frac{q_{sh} \ a \ (l_{supports} - a)}{2} \quad M_{sqha} = 510\ 631,84 \text{ N.m}$$

Spectre de calcul pour l'analyse élastique

$$M_{scqa} = \frac{q_{sch} \ a \ (l_{supports} - a)}{2} \quad M_{scqa} = 340\ 421,23 \text{ N.m}$$

Moment du à la force linéique verticale

Spectre de réponse élastique

$$M_{sqva} = \frac{q_{sv} \ a \ (l_{supports} - a)}{2} \quad M_{sqva} = 350\ 147,55 \text{ N.m}$$

Spectre de calcul pour l'analyse élastique

$$M_{scqa} = \frac{q_{scv} \ a \ (l_{supports} - a)}{2} \quad M_{scqa} = 194\ 526,42 \text{ N.m}$$

Moment du au poids propre de la tuyauterie

$$M_{pds} = \frac{m_{lin,tuy} \ g \ a \ (l_{supports} - a)}{2} \quad M_{pds} = 216\ 852,74 \text{ N.m}$$



Forces ponctuelles - Au centre de la portée

Moment du à la force ponctuelle horizontale

Spectre de réponse élastique

$$M_{sQh, l/2} = \frac{Q_{sh} b}{2} \quad M_{sQh, l/2} = 219\,738,75 \text{ N.m}$$

Spectre de calcul pour l'analyse élastique

$$M_{scQh, l/2} = \frac{Q_{sch} b}{2} \quad M_{scQh, l/2} = 146\,492,50 \text{ N.m}$$

Moment du à la force ponctuelle verticale

Spectre de réponse élastique

$$M_{sQv, l/2} = \frac{Q_{sv} b}{2} \quad M_{sQv, l/2} = 150\,678,00 \text{ N.m}$$

Spectre de calcul pour l'analyse élastique

$$M_{scQv, l/2} = \frac{Q_{scv} b}{2} \quad M_{scQv, l/2} = 83\,710,00 \text{ N.m}$$

Moment du au poids propre de l'équipement supporté

$$M_{Msv, l/2} = \frac{M_{eq} g b}{2} \quad M_{Msv, l/2} = 93\,317,63 \text{ N.m}$$

Forces ponctuelles - Au droit de la charge ponctuelle

Moment du à la force ponctuelle horizontale

Spectre de réponse élastique

$$M_{sQh} = \frac{Q_{sh} a b}{l_{\text{supports}}} \quad M_{sQh} = 219\,738,75 \text{ N.m}$$

Spectre de calcul pour l'analyse élastique

$$M_{scQh} = \frac{Q_{sch} a b}{l_{\text{supports}}} \quad M_{scQh} = 146\,492,50 \text{ N.m}$$

Moment du à la force ponctuelle verticale

Spectre de réponse élastique

$$M_{sQv} = \frac{Q_{sv} a b}{l_{\text{supports}}} \quad M_{sQv} = 150\,678,00 \text{ N.m}$$

Spectre de réponse élastique

$$M_{scQv} = \frac{Q_{scv} a b}{l_{\text{supports}}} \quad M_{scQv} = 83\,710,00 \text{ N.m}$$

Moment du au poids propre de l'équipement supporté

$$M_{Msv} = \frac{M_{eq} g a b}{l_{\text{supports}}} \quad M_{Msv} = 93\,317,63 \text{ N.m}$$



Moment résultant au centre de la portée

$$M_{r,l/2} = \sqrt{(M_{sqh} + M_{sqh,l/2})^2 + (M_{sqv} + M_{sqv,l/2})^2}$$

$$M_{r,l/2} = 560\,803,42 \text{ N.m}$$

Moment résultant au droit de la charge ponctuelle

$$M_{r,Q} = \sqrt{(M_{sqha} + M_{sqh})^2 + (M_{sqva} + M_{sqv})^2}$$

$$M_{r,Q} = 560\,803,42 \text{ N.m}$$

[125f] C10.3.2 **Vérification de la somme des contraintes primaire dues aux charges permanentes**

$$\sigma_1 = \frac{p D_{ext}}{4 e} + \frac{0,75 i (M_{pds} + M_{msv,l/2})}{Z} \leq f_{chaud}$$

$f_{chaud} = 170,00 \text{ MPa}$
 $\sigma_1 = 111,38 \text{ MPa}$
Acceptable

[125f] C10.3.3 **Vérification de la somme des contraintes primaire dues aux charges permanentes et aux charges exceptionnelles** (Spectre de calcul pour l'analyse élastique)

$$\sigma_{2c} = \frac{p D_{ext}}{4 e} + \frac{0,75 i (M_{pds} + M_{msv,l/2})}{Z} + \frac{0,75 i M_{r,l/2}}{Z} \leq k f_{chaud}$$

Intensification de contrainte $i = 1,00$

Exploitation 1,3	Conf. + opé. 1,5	Confinement 1,8	$k = 1,3$
---------------------	---------------------	--------------------	-----------

$$k f_{chaud} = 221,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{2c} = 150,65 \text{ MPa}$$

Acceptable

et

$$\sigma_{2c} = \frac{p D_{ext}}{4 e} + \frac{0,75 i (M_{pds} + M_{msv,l/2})}{Z} + \frac{0,75 i M_{r,Q}}{Z} \leq k f_{chaud}$$

$$\sigma_{2c} = 150,65 \text{ MPa}$$

Acceptable

Déplacements - Au centre de la portée (Spectre de réponse élastique)

Déplacement horizontal maximal du à la force linéique horizontale

$$d_{sqh} = \frac{5 q_{sh} l_{\text{supports}}^4}{384 E I} \quad d_{sqh} = 18,49 \text{ mm}$$

Déplacement vertical maximal du à la force linéique verticale

$$d_{sqv} = \frac{5 q_{sv} l_{\text{supports}}^4}{384 E I} \quad d_{sqv} = 12,68 \text{ mm}$$

Flèche due au poids propre de la tuyauterie

$$d_{pds} = \frac{5 m_{\text{lin, tuy}} g l_{\text{supports}}^4}{384 E I} \quad d_{pds} = 7,85 \text{ mm}$$

Déplacement horizontal maximal du à la force ponctuelle horizontale

$$d_{sQh, l/2} = \frac{Q_{sh} b}{12 E I} \left(\frac{3}{4} l_{\text{supports}}^2 - b^2 \right) \quad d_{sQh, l/2} = 6,36 \text{ mm}$$

Déplacement vertical maximal du à la force ponctuelle verticale

$$d_{sQv, l/2} = \frac{Q_{sv} b}{12 E I} \left(\frac{3}{4} l_{\text{supports}}^2 - b^2 \right) \quad d_{sQv, l/2} = 4,36 \text{ mm}$$

Flèche due au poids propre de l'équipement supporté

$$d_{Msv, l/2} = \frac{M_{eq} g b}{12 E I} \left(\frac{3}{4} l_{\text{supports}}^2 - b^2 \right) \quad d_{Msv, l/2} = 2,70 \text{ mm}$$

Déplacement horizontal maximal	$d_{\text{maxh}}_{l/2} =$	24,85 mm
Déplacement vertical maximal	$d_{\text{maxvh}}_{l/2} =$	27,60 mm



GUIDE SEISME - TUYAUTERIE & ROBINETTERIE
Configuration 1B : Tronçon simple horizontal appuyé-appuyé & Vanne

Page 9
17/03/14

Pour $a > b$, la flèche maximale due à la charge ponctuelle sera atteinte à la distance x :

$$x = \sqrt{\frac{l_{\text{supports}}^2 - b^2}{3}}$$

$$x = 7,61 \text{ m}$$

Déplacements - A la distance x

(Spectre de réponse élastique)

Déplacement horizontal maximal du à la force linéique horizontale

$$d_{\text{sqh}, x} = \frac{q_{\text{sh}} x}{24 E I} (l_{\text{supports}}^3 - 2 l_{\text{supports}} x^2 + x^3) \quad d_{\text{sqh}_x} = 18,49 \text{ mm}$$

Déplacement vertical maximal du à la force linéique verticale

$$d_{\text{sqv}, x} = \frac{q_{\text{sv}} x}{24 E I} (l_{\text{supports}}^3 - 2 l_{\text{supports}} x^2 + x^3) \quad d_{\text{sqv}_x} = 12,68 \text{ mm}$$

Flèche due au poids propre de la tuyauterie

$$d_{\text{pds}, x} = \frac{m_{\text{lin, tuy}} g x}{24 E I} (l_{\text{supports}}^3 - 2 l_{\text{supports}} x^2 + x^3) \quad d_{\text{pds}_x} = 7,85 \text{ mm}$$

Déplacement horizontal maximal du à la force ponctuelle horizontale

$$d_{\text{sQh}, x} = \frac{Q_{\text{sh}} b x}{6 E I l_{\text{supports}}} (l_{\text{supports}}^2 - b^2 - x^2) \quad d_{\text{sQh}_x} = 6,36 \text{ mm}$$

Déplacement vertical maximal du à la force ponctuelle verticale

$$d_{\text{sQv}, x} = \frac{Q_{\text{sv}} b x}{6 E I l_{\text{supports}}} (l_{\text{supports}}^2 - b^2 - x^2) \quad d_{\text{sQv}_x} = 4,36 \text{ mm}$$

Flèche due au poids propre de l'équipement supporté

$$d_{\text{Msv}, x} = \frac{M_{\text{eq}} g b x}{6 E I l_{\text{supports}}} (l_{\text{supports}}^2 - b^2 - x^2) \quad d_{\text{Msv}_x} = 2,70 \text{ mm}$$

Déplacement horizontal maximal

$$d_{\text{maxh}_x} = 24,85 \text{ mm}$$

Déplacement vertical maximal

$$d_{\text{maxvh}_x} = 27,60 \text{ mm}$$



GUIDE SEISME - TUYAUTERIE & ROBINETTERIE
Configuration 1B : Tronçon simple horizontal appuyé-appuyé & Vanne

Page 10

Réaction maximum aux appuis (supports) (Spectre de réponse élastique)

Direction horizontale

$$R_{Ah} = \frac{q_{sh} l_{\text{supports}}}{2} + \frac{Q_{sh} b}{l_{\text{supports}}} \quad R_{Ah} = 163\,075,22 \text{ N}$$

$$R_{Bh} = \frac{q_{sh} l_{\text{supports}}}{2} + \frac{Q_{sh} a}{l_{\text{supports}}} \quad R_{Bh} = 163\,075,22 \text{ N}$$

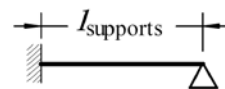
Direction verticale

$$R_{Av} = \frac{(q_{sv} + m_{\text{lin, tuy}} g) l_{\text{supports}}}{2} + \frac{(Q_{sv} + M_{\text{eq}} g) b}{l_{\text{supports}}} \quad R_{Av} = 181\,077,03 \text{ N}$$

$$R_{Bv} = \frac{(q_{sv} + m_{\text{lin, tuy}} g) l_{\text{supports}}}{2} + \frac{(Q_{sv} + M_{\text{eq}} g) a}{l_{\text{supports}}} \quad R_{Bv} = 181\,077,03 \text{ N}$$

A2.3 – Tronçon droit encastré-appuyé

Matériau	P265GH NF EN 10216-2 : 2002/12		
Pression de service	p =	80 bar	
Température de service		150,00 °C	
Limite d'élasticité à la temp. de service	R _{p,t} =	193,00 MPa	
Résistance à la traction	R _m =	410,00 MPa	
Contrainte admissible	f _{chaud} =	128,67 MPa	
Module d'élasticité du matériau	E =	2,10E+11 Pa	
Masse volumique du matériau	m _{vol_mat} =	7 800,00 kg/m ³	
Diamètre extérieur	D _{ext} =	508,00 mm	
Diamètre intérieur	D _{int} =	476,00 mm	
Epaisseur minimale requise [125f] § C2.2.2		15,32 mm	
Epaisseur de commande	e =	16,00 mm	
Moment d'inertie	$I = \frac{\pi}{64} (D_{ext}^4 - D_{int}^4)$	I =	7,49E-04 m ⁴
Module de section	$Z = I \frac{2}{D_{ext}}$	Z =	2,95E-03 m ³
Fluide transporté		eau	
Masse volumique du fluide	m _{vol_flu} =	1 000,00 kg/m ³	
Masse linéique du calorifuge	m _{lin_cal} =	0 kg/m	
Masse linéique de la tuyauterie pleine	m _{lin_tuy} =	370,85 kg/m	
Masse linéique du fluide seul		177,95 kg/m	
Accélération de la pesanteur	g =	9,81 m/s ²	
Type de support		Appuis	
Nombre de portée(s)		1	
Distance maximale entre supports	l _{supports} =	20,00 m	

1^o fréquence propre

$$f = \frac{\alpha}{2\pi} \sqrt{\frac{E}{m_{lin,tuy}} \frac{I}{l_{supports}^4}}$$

$$\alpha = 15,42$$

$$f = 4,00 \text{ Hz}$$

Note : Les fréquences et modes propres dans les directions horizontale (sens travers) et verticale sont identiques



GUIDE SEISME - TUYAUTERIE & ROBINETTERIE
Configuration 3A : Tronçon simple horizontal encastré-appuyé

Page 2
17/03/14

Période	F G	0,2503	0,2503
Zone de sismicité	1 à 5	4	
Classe de sol	A à E	D	
Équipement neuf = 1	Équipement en service = 2	1	
Arrêté applicable = 1	Projet d'arrêt = 2	2	
Amortissement (%)		5	
Coefficient de réduction	Spectre horizontal	1	2
Coefficient de réduction	Spectre vertical	1	1,5

Détermination des accélérations

Spectre de réponse élastique

Accélération sismique horizontale

γ_h (m/s²) = 11,97

Accélération sismique verticale

γ_v (m/s²) = 8,46

Spectre de calcul pour l'analyse élastique

Accélération sismique horizontale

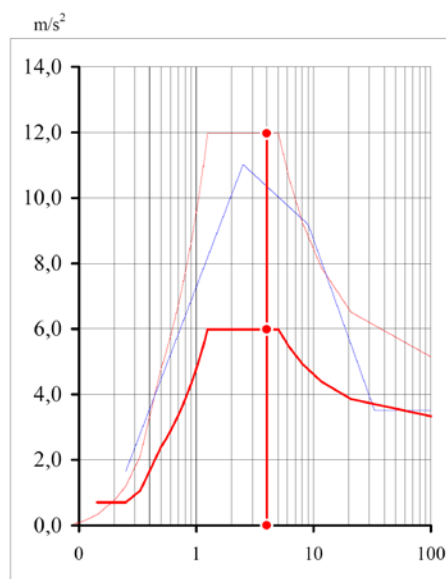
γ_{ch} (m/s²) = 5,98

Accélération sismique verticale

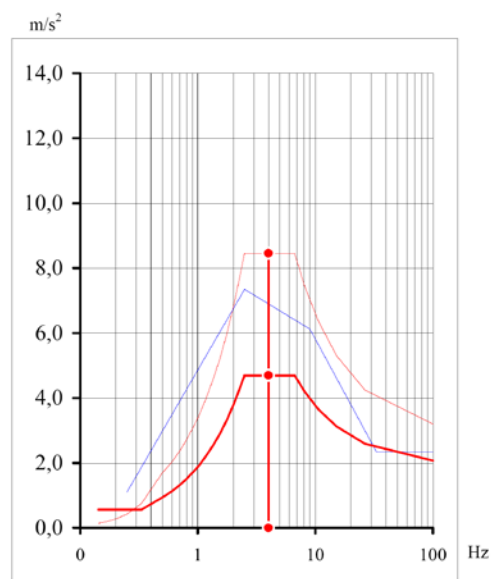
γ_{cv} (m/s²) = 4,70

$ghg =$	3,52	$TBH =$	0,20	$TBV =$	0,15
$gvv =$	2,82	$TCH =$	0,80	$TCV =$	0,40
		$TDH =$	2,00	$TDV =$	2,00
$C_{sol} =$	1,36	$TEH =$	6,00		
		$TFH =$	10,00		

3,9960	0,0000	3,9960	0,0000
3,9960	5,9840	3,9960	8,46
3,9960	11,9680	3,9960	4,7000



Spectre horizontal



Spectre vertical

Charges et efforts dus au séisme

Charge linéique horizontale



$$q_{sh} = m_{lin, tuy} \gamma_h$$

$$q_{sh} = 4\,438,35 \text{ N/m}$$

$$q_{sch} = m_{lin, tuy} \gamma_{ch}$$

$$q_{sch} = 2\,219,17 \text{ N/m}$$

Charge linéique verticale



$$q_{sv} = m_{lin, tuy} \gamma_v$$

$$q_{sv} = 3\,137,40 \text{ N/m}$$

$$q_{scv} = m_{lin, tuy} \gamma_{cv}$$

$$q_{scv} = 1\,743,00 \text{ N/m}$$

Moment maximum dû à la charge linéique horizontale

(à l'encastrement)

$$M_{sqh} = km \, q_{sh} \, l_{supports}^2 \quad km = 0,125$$

$$M_{sqh} = 221\,917,35 \text{ N.m}$$

$$M_{scqh} = km \, q_{sch} \, l_{supports}^2$$

$$M_{scqh} = 110\,958,68$$

Moment maximum dû à la charge linéique verticale

(à l'encastrement)

$$M_{sqv} = km \, q_{sv} \, l_{supports}^2 \quad km = 0,125$$

$$M_{sqv} = 156\,870,05 \text{ N.m}$$

$$M_{scqv} = km \, q_{scv} \, l_{supports}^2$$

$$M_{scqv} = 87\,150,03 \text{ N.m}$$

 Moment maximum dû au poids propre
de la tuyauterie

(à l'encastrement)

$$M_{pdsv} = km \, m_{lin, tuy} \, g \, l_{supports}^2 \quad km = 0,125$$

$$M_{pdsv} = 181\,902,51 \text{ N.m}$$



GUIDE SEISME - TUYAUTERIE & ROBINETTERIE
Configuration 3A : Tronçon simple horizontal encastré-appuyé

Page 4
17/03/14

[125f] C10.3.2 **Vérification de la somme des contraintes primaire dues aux charges permanentes**

$$\sigma_1 = \frac{p D_{ext}}{4 e} + \frac{0,75 i M_{pds}}{Z} \leq f_{chaud}$$

f_chaud = 128,67 MPa
 $\sigma_1 = 109,76 \text{ MPa}$
Acceptable

[125f] C10.3.3 **Vérification de la somme des contraintes primaire dues aux charges permanentes et aux charges exceptionnelles** (Spectre de calcul pour l'analyse élastique)

$$\sigma_{2c} = \frac{p D_{ext}}{4 e} + \frac{0,75 i M_{pds}}{Z} + \frac{0,75 i \sqrt{(M_{scqh})^2 + (M_{scqv})^2}}{Z} \leq k f_{chaud}$$

Intensification de contrainte i = 1,00

Exploitation 1,3	Conf. + opé. 1,5	Confinement 1,8		k = 1,5
---------------------	---------------------	--------------------	--	---------

k f_chaud = 193,00 MPa
 $\sigma_{2c} = 145,64 \text{ MPa}$
Acceptable



Déplacements (Spectre de réponse élastique)

Déplacement horizontal maximal
du à la charge linéique horizontale (8,42 m)

$$d_{sqh} = \frac{q_{sh} l_{supports}^4}{185 E I} \quad d_{sqh} = 24,40 \text{ mm}$$

Déplacement vertical maximal
du à la charge linéique verticale (8,42 m)

$$d_{sqv} = \frac{q_{sv} l_{supports}^4}{185 E I} \quad d_{sqv} = 17,25 \text{ mm}$$

Flèche due au poids propre (8,42 m)

$$d_{pds} = \frac{m_{lin, tuy} g l_{supports}^4}{185 E I} \quad d_{pds} = 20,00 \text{ mm}$$

Déplacement horizontal maximal $d_{maxh} = 24,40 \text{ mm}$
 Déplacement vertical maximal $d_{maxvh} = 37,25 \text{ mm}$

Réactions maximum (Spectre de réponse élastique)

Direction horizontale

$$R_{maxh} = km q_{sh} l_{supports} \quad km = 0,625 \quad R_{maxh} = 55\,479,34 \text{ N} \quad (\text{à l'encastrement})$$

$$M_{maxh} = km q_{sh} l_{supports}^2 \quad km = 0,125 \quad M_{maxh} = 221\,917,35 \text{ N.m}$$

$$R_{maxh} = km q_{sh} l_{supports} \quad km = 0,375 \quad R_{maxh} = 33\,287,60 \text{ N} \quad (\text{à l'appui})$$

Direction verticale

$$R_{maxv} = km (q_{sv} + m_{lin, tuy} g) l_{supports} \quad km = 0,625 \quad R_{maxv} = 84\,693,14 \text{ N} \quad (\text{à l'encastrement})$$

$$M_{maxv} = km (q_{sv} + m_{lin, tuy} g) l_{supports}^2 \quad km = 0,125 \quad M_{maxv} = 338\,772,56 \text{ N.m}$$

$$R_{maxv} = km (q_{sv} + m_{lin, tuy} g) l_{supports} \quad km = 0,375 \quad R_{maxv} = 33\,287,60 \text{ N} \quad (\text{à l'appui})$$

ANNEXE 3

Supports primaires de tuyauteries

Compte tenu de la très grande diversité des supports susceptibles d'être installés sur des lignes de tuyauteries, il est difficile d'établir des règles générales permettant de justifier tous les cas envisageables.

Toutefois, en fonction des conditions à respecter (§ 1.1) retenues par le Donneur d'ordre ou l'Exploitant, des exigences spécifiques sont précisées ci-après.

Les évaluations et analyses définies aux § 2.3.2, 2.3.3 et 2.3.4 doivent permettre de déterminer les supports les plus critiques qui devront faire l'objet de vérifications appropriées. En compléments aux valeurs des efforts, il est recommandé de tenir compte pour ce choix des situations suivantes :

- Supports des tronçons les plus longs.
- Supports proches des équipements.
- Supports axiaux de tronçons de grande longueur.
- Supports rigides sur une ligne comportant d'autres supports de rigidité sensiblement plus faible (point « chaud »).
- Supports dont les platines de fixation comportent le moins de boulons.
- Supports commun à plusieurs lignes.
- ...

Les vérifications de ces supports et de la boulonnerie de fixation doivent permettre de répondre aux exigences retenues par le Donneur d'ordre ou l'Exploitant.

Ces vérifications peuvent être réalisées simplement par comparaison avec les valeurs admissibles proposées par des normes [145], [147] et [148], par les fournisseurs de supports [146], par des calculs simples de résistance des matériaux [125f Section C4] ou par toute autre méthode numérique (éléments finis par exemple).

Note : Un jeu inférieur ou égal à 10 mm entre le support et la tuyauterie est acceptable. Au-delà le jeu doit rester inférieur à $0,1 D$ avec un maximum de 50 mm et les efforts générés par la tuyauterie utilisés pour la vérification du support doivent être multipliés par un coefficient d'impact non inférieur à 2.

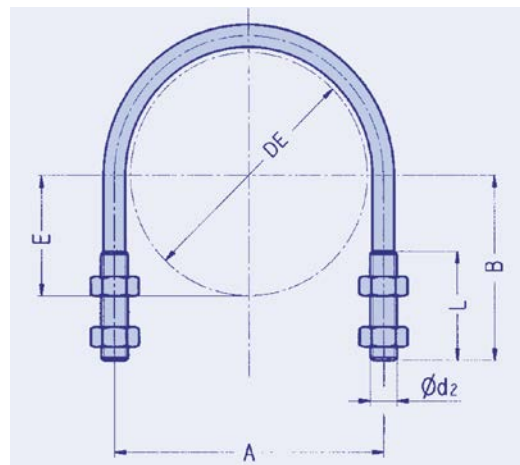


Figure A3-1

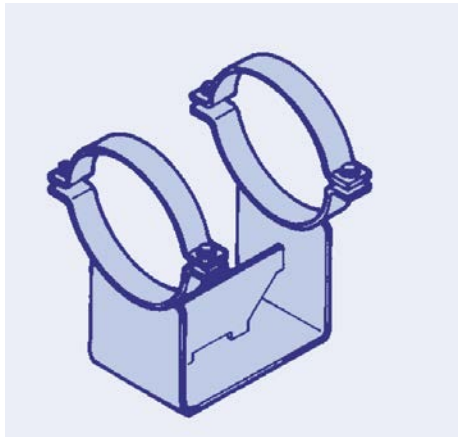


Figure A3-2

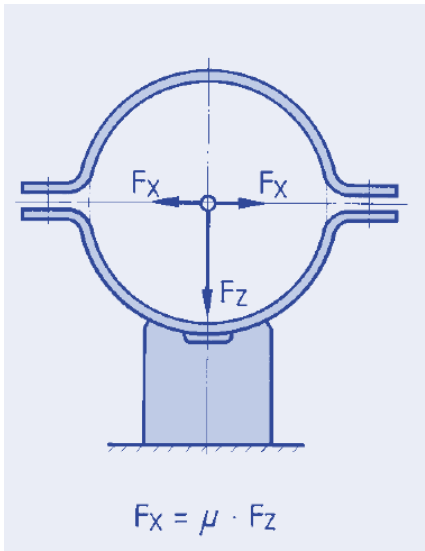
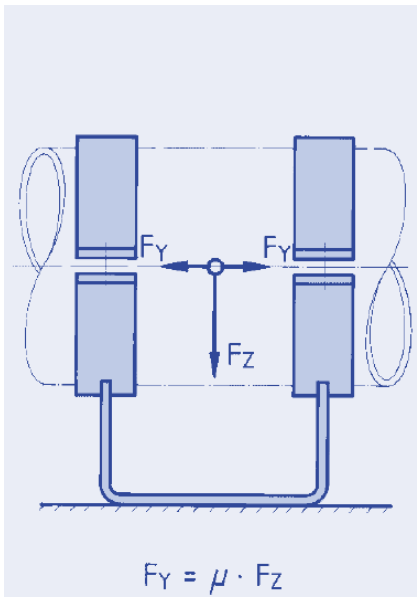
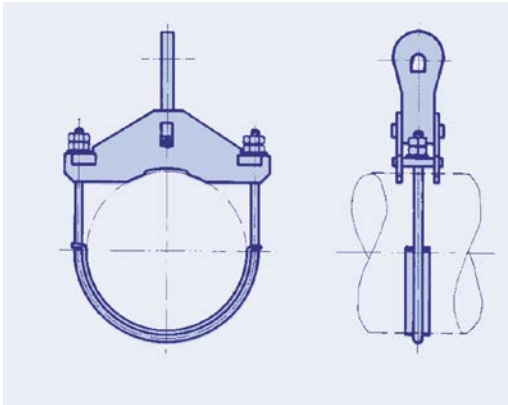
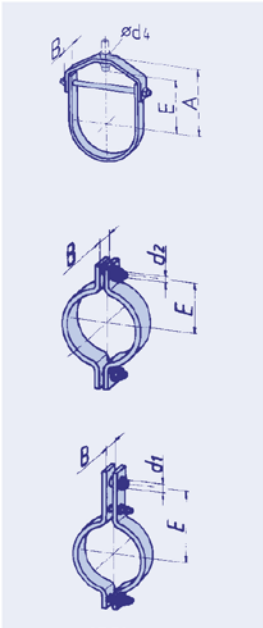


Figure A3-3



Colliers, patins, DE 26,9 (DN 20 / 3/4"), type 42, 43, 45, 49

voir dimensions de type 42 (voir page 146)



Type	charge admissible (kN)										600°C	d4	E	A	B	kg	groupe de charge
	100	250	350	450	500	510	530	560	580								
42 02 17	2,5										10,5	25	48	26	0,15	C-D	

Type	charge admissible (kN)										d2	E	B	kg	groupe de charge
	100	250	350	450	500	510	530	560	580	600°C					
42 02 19	5,5	4,0	3,0								M10	33	30	0,3	C-2
Matériaux haute température, voir page 4.3															

Type	charge admissible (kN)										600°C	d1	E	B	kg	groupe de charge
	100	250	350	450	500	510	530	560	580							
43 02 19	6,0	4,5	3,0								12	110	30	0,5	C-2	
43 02 39			5,8	5,2	3,5	3,0	2,2	1,2			12	135	30	0,6	C-2	
43 02 49								2,4	1,8	1,3	12	135	30	0,6	C-2	

Figure A3-4 [146]

