Seuls l'original et la version électronique font foi. Ne pas imprimer, sauf pour usage temporaire.

PROCÉDURE DE CONCEPTION DES MAQUETTES, MONTAGES ET BANCS D'ESSAIS

HISTORIQUE

Version Révision	Date de mise en application	Cause et/ou nature de l'évolution
2.1	Décembre 2019	Précision quant au dimensionnement de pièces élaborées en impression 3D. Modification du critère de dimensionnement des pièces métalliques en traction, compression, flexion, torsion
2.0	Juin 2018	Mise à jour de l'ensemble de la procédure et extension à la conception des montages et bancs d'essais.
1.1	Octobre 2013	Modification de l'annexe A : connecteurs de prises de pression (F1).
1.0	Décembre 2012	Nouvel identifiant DRIM > GMT 6 Ajout de spécifications dans le §6.2.5 et nouvelle annexe B.
4.0	Mai 2010	Révision majeure de la procédure.
3.0	Septembre 2006	Ajout des consignes (§7.2) de spécifications pour les tubes souples de prise de pression (suite à la fiche de progrès DCBE/02/10).
2.0	Juin 2001	Mise à jour avec la nouvelle organisation de GMT et suivant la nouvelle forme des procédures. Annule et remplace la procédure : AQ/GME.G.04/PT/001.
1.0	Mars 1997	Création.

	Rédacteur	Vérificateurs			Approbateur
Fonction	DSIM/BES	DSIM/DMS	ADQ DS	DSIM	DS
Nom	P. Leconte	F. Ternoy	L. Duplessy	Y. Vernat	P. Wagner
Visa					

GEN-F1-5 (GEN-QUA-001)

Propriété de l'ONERA - Reproduction, communication, utilisation
même partielles interdites sans accord écrit préalable

SOMMAIRE

1 Objet 4
2 Domaine d'application 4
3 Documents applicables et de référence 4
4 Définitions 4
5 DOSSIER DE DEFINITION DU MOYEN D'ESSAI 4
6 Note de calculs 5
6.1 Domaine d'essai et chargements 5
6.1.1 Règles générales 5
6.1.2 Sollicitations dynamiques 6
6.2 Choix des matériaux 6
6.3 Validation de la tenue mécanique 6
6.3.1 Règles générales 6
6.3.2 Validation de la tenue des pièces 7
6.3.3 Validation des liaisons 9
6.4 Déformations 11
6.5 Stabilité et comportement dynamique 11
6.5.1 Divergence statique 11
6.5.2 Divergence dynamique et flottement 11
6.5.3 Risques de couplage mécanique 11
7 Autres spécifications A RESPECTER 12
7.1 Marquage 12
7.2 Références 12
7.3 Manipulation et utilisation 12
7.3.1 Manipulation 12
7.3.2 Utilisation 12
8 Equipement 13
8.1 Règles générales 13
8.2 Prises de pression 13
8.2.1 Implantation 13
8.2.2 Connexion 13
8.2.3 Cas particuliers 13
8.3 Autres capteurs 14
8.4 Passage des câblages électriques, des prises électriques et des vinyles 14
8.5 Niveaux 14
8.6 Systèmes motorisés 14
8.7 Sécurité électrique 14
9 Contrôle 15
9.1 Règles générales 15
9.2 Contrôle des matériaux 15
9.3 Contrôle de géométrie 15
9.4 Contrôle des assemblages 15
9.4.1 Visserie 15
9.4.2 Soudures 16
9.5 Simulation de chargements 16

Seuls l'original et la version électronique font foi. Ne pas imprimer, sauf pour usage temporaire.

Propriété de l'ONERA - Reproduction, communication, utilisation
même partielles interdites sans accord écrit préalable

9.6 Dérogations....16
10 Produits chimiques....16
11 RECETTE du moyen d'essai....16
12 Notice d'utilisation....17
13 Caisse de transport et livraison....17
Annexe A - CONNECTIONS DES PRISES DE PRESSION (EXEMPLE DE F1)....18
Annexe B - Tableau standard couples de serrage (1/2)....19
Annexe B - Tableau standard couples de serrage (2/2)....20
Annexe C - Equipement sous pression....21

Ne pas imprimer, sauf pour usage temporaire.
Seuls l'original et la version électronique font foi.

Propriété de l'ONERA - Reproduction, communication, utilisation
même partielles interdites sans accord écrit préalable

Seuls l'original et la version électronique font foi. Ne pas imprimer, sauf pour usage temporaire.

1 OBJET

Cette procédure a pour but de fournir les principales règles à respecter pour la conception de maquettes, montages et bancs d'essai en soufflerie aérodynamique. Elle concerne les maquettes, les montages, ainsi que les dispositifs et les bancs d'essais. Elle ne peut couvrir la totalité des technologies susceptibles d'être utilisées mais constitue un guide pour les plus courantes.

De manière à alléger le texte de la présente procédure, le terme générique « moyen d'essai » est utilisé ci-dessous en remplacement de l'ensemble « maquettes, dispositifs, montages et bancs d'essai ».

2 DOMAINE D'APPLICATION

Cette procédure est destinée aux bureaux d'étude de l'ONERA et aux clients de l'ONERA, et leurs sous-traitants, qui conçoivent et réalisent des moyens d'essais destinés à être utilisés dans les installations de ONERA/DS.

Les concepteurs peuvent sur simple demande bénéficier des avis ponctuels des personnels ONERA/DS (bureau d'études et souffleries) à l'occasion de revues de conception.

3 DOCUMENTS APPLICABLES ET DE REFERENCE

Il appartient au concepteur de garantir, compte tenu des spécificités du moyen d'essai étudié, que celui-ci est conçu de façon à respecter l'ensemble des textes réglementaires auxquels il est soumis (Directive Machines, DESP, ATEX, sécurités électriques, …).

4 DEFINITIONS

- Conception : ensemble des activités consistant à transformer les exigences fonctionnelles et les performances demandées par un client en solutions techniques réalisables, y compris les spécifications de contrôles et vérifications associés ;

- Domaine d'essai : conditions et limites d'utilisation du moyen d'essai :
  - domaine aérodynamique : Mach, pression et température génératrices de la soufflerie et le cas échéant les conditions particulières (givrage, hygrométrie, …) ;
  - attitudes : incidence, dérapage, roulis et les conditions particulières (largages, dispositif tournant, etc.) ;
  - servitudes : aspiration ou air comprimé (débit, pression, température), alimentation électrique ….

- Chargements : efforts et moments d'origine aérodynamique ou autre (centrifuge, inertiel, thermique…), auxquels le moyen d'essai est soumis sur l'ensemble du domaine d'essai.

5 DOSSIER DE DEFINITION DU MOYEN D'ESSAI

Le dossier de définition d'un moyen d'essai de soufflerie doit contenir les éléments suivants :

- le domaine d'essai et les chargements correspondants qui constituent les données d'entrée de la conception et permettent d'établir les plans et la note de calculs ;

- la note de calculs qui justifie la géométrie, le dimensionnement, les assemblages et le choix des matériaux et des composants en fonction des contraintes mécaniques, aérauliques, thermiques et des déformations du moyen d'essai **- à fournir à l'ONERA au plus tard 1 mois**

Propriété de l'ONERA - Reproduction, communication, utilisation
même partielles interdites sans accord écrit préalable

avant le début d'un essai de manière à permettre la vérification de sa conformité avec la présente procédure ;

- la liasse de plans qui comporte :

  - les plans d'ensemble qui doivent faire apparaître, en particulier dans le cas d'une maquette:
    ⇒ les repères clients, référence horizontale fuselage (RHF)
    ⇒ le centre de réduction des moments
    ⇒ le centre balance
    ⇒ pour les mesures de moments de charnière, la position des axes charnière et balance ainsi que les positions des points d'application de chargements ;
  - les plans des sous-ensembles et les plans de détails nécessaires pour la fabrication et le montage des différentes configurations le cas échéant ;
  - les tolérances de fabrication et les états de surface ;

- la description de la visserie précisant notamment pour chaque assemblage le type de vis et les couples de serrage à appliquer ;
- les spécifications de contrôle s'agissant des inspections géométriques, des essais mécaniques et/ou des épreuves ;
- la définition de l'équipement (instrumentation, capteurs, motorisation, …), précisant les connecteurs utilisés et leur câblage ;
- la notice de montage et de manutention ;
- la nomenclature complète y compris des composants sur catalogue ;
- la description des matériaux utilisés précisant les références ainsi que les spécifications de traitement thermique et de traitement de surface ;
- la modélisation 3D du moyen d'essais dans un format à définir en accord avec le Responsable Essai.

De manière générale, le concepteur doit transmettre les informations nécessaires avant chaque revue de conception à laquelle doivent être associés les équipes de ONERA/DS (responsables de montage en soufflerie, responsables d'essai, bureaux d'études,…).

Le dossier de définition sera fourni sur CDROM, par transfert par serveur d'échange de fichiers au format PDF ou éventuellement sous forme de documents papiers.

Dans le cas de fichiers soumis à des mentions de confidentialité spécifiques (DR, CD), les procédures de fourniture des données correspondantes seront mises en œuvre.

6 NOTE DE CALCULS

6.1 DOMAINE D'ESSAI ET CHARGEMENTS

6.1.1 Règles générales

L'ensemble des efforts aérodynamiques s'exerçant sur le moyen d'essai considéré globalement et sur tous les sous-ensembles et pièces individuelles le constituant est fourni par le client pour toutes les configurations à essayer et pour les valeurs extrêmes du domaine d'essai. Les contraintes générées par d'autres charges, soit primaires (induites par gravité, réactions des appuis…), ou secondaires (induites par les gradients thermiques) sont à déterminer par le concepteur. Enfin l'analyse en fatigue éventuelle est également à la charge du concepteur. Les valeurs extrêmes du domaine d'essai doivent être validées par l'équipe soufflerie pour tenir compte des spécificités de l'installation.

Les différents efforts, notamment ceux liés à la gravité, à l'aérodynamique, aux efforts thermiques, aux inerties (sous-ensembles mobiles ou effets dynamiques), aux balourds et effets gyroscopiques pour les parties tournantes, doivent figurer explicitement ainsi que la justification des cas considérés pour le dimensionnement.

Seuls l'original et la version électronique font foi. Ne pas imprimer, sauf pour usage temporaire.

Propriété de l'ONERA - Reproduction, communication, utilisation
même partielles interdites sans accord écrit préalable

Seuls l'original et la version électronique font foi. Ne pas imprimer, sauf pour usage temporaire.

Certains cas de défaillance (par exemple perte d'aubes ou de pales) doivent faire l'objet d'une justification particulière concernant les hypothèses retenues. L'approche retenue, en cas de perte dans la soufflerie d'éléments de taille significative, doit faire l'objet de discussion avec le Responsable d'Essai, le Responsable d'Installation et les bureaux d'études de ONERA/DS. De même, si un ou plusieurs éléments fusibles sont intégrés à une maquette, un montage ou un banc d'essai, leur tenue doit faire l'objet d'une justification détaillée après accord du Responsable d'Essai, du Responsable d'Installation et des bureaux d'études de ONERA/DS sur la configuration proposée.

Toutes les surfaces sensibles aux effets aérodynamiques mais normalement à l'incidence de portance nulle, seront supposées avoir un désalignement de ± 1°.

Les conventions de signes (braquages des éléments, repère maquette, chargements) sont à fournir par le client.

Nota : l'échelle choisie pour le moyen d'essai devra systématiquement prendre en compte les contraintes de la soufflerie notamment du point de vue de l'obstruction en veine et des corrections de paroi.

6.1.2 Sollicitations dynamiques

Si la part dynamique des efforts que devra subir le moyen d'essai n'est pas connue lors de la phase de dimensionnement, les sollicitations correspondantes sont estimées à partir de sollicitations statiques. Sauf pour certains cas listés ci-après, on considérera **la part de dynamique égale à 20% des efforts statiques**.

Pour les cas suivants, la part de dynamique à considérer est plus importante :

- Surfaces articulées sur charnières (aileron, rudder,…) : **30%**
- Missile avec incidence supérieure à 30° : **40%**
- Eléments de type trappes, trains d'atterrissage, emports : **100%**
- Surfaces avec écoulement très instationnaire (spoilers, volets/becs à fente,…) : **100%**
- Avion avec risque de buffeting : **300% sur X, 20% sur les autres composantes**

Au cas où le concepteur d'un moyen d'essai souhaite avoir confirmation du niveau de dynamique à considérer pour le dimensionnement, il doit se rapprocher soit du responsable d'essai soit d'un des bureaux d'études de ONERA/DS.

6.2 CHOIX DES MATERIAUX

Le choix des matériaux est justifié en fonction des caractéristiques issues de normes officielles ou de résultats d'essai (PV à fournir). Dans le cas d'une nouvelle fabrication, les certificats matière pour les différentes pièces constitutives d'un moyen d'essai sont à fournir (par exemple sous forme d'annexes à la note de calculs).

Selon l'utilisation prévue, les caractéristiques mécaniques retenues sont à indiquer. Le concepteur précisera le domaine de validité : les conditions d'utilisation (température, milieu), les caractéristiques d'approvisionnement (nature du brut), les caractéristiques de traitement (métaux) ou d'obtention (composites).

Une attention particulière doit être portée quant à la tenue et aux déformations des maquettes soumises à de hautes températures lors d'essais sur des installations spécialisées (ex : BD2MA, CEPRA19– nécessité d'adapter les tolérances d'assemblage sur parties chaudes pour éviter les serrages).

6.3 VALIDATION DE LA TENUE MECANIQUE

6.3.1 Règles générales

Pour chaque élément calculé, le concepteur donnera les caractéristiques du matériau et les numéros des plans correspondants. Il décrira les données d'entrées utilisées et les hypothèses retenues.

Propriété de l'ONERA - Reproduction, communication, utilisation
même partielles interdites sans accord écrit préalable

Seuls l'original et la version électronique font foi. Ne pas imprimer, sauf pour usage temporaire.

Dans le cas d'un calcul analytique, il s'agira de fournir un schéma comportant les dimensions, les sections et inerties utilisées, la représentation vectorielle des efforts, les hypothèses simplificatrices. Pour justifier le choix de la section critique d'un calcul, on fera apparaître clairement, pour chaque type de contrainte prise séparément puis pour les contraintes combinées (traction, compression, flexion, torsion, cisaillement, …) l'endroit où les contraintes sont maximales. Le calcul des contraintes inclut les coefficients de concentration (en statique et dynamique), d'état de surface et de facteur d'échelle (en dynamique). Les valeurs retenues pour ces coefficients sont indiquées clairement.

Dans le cas de l'utilisation d'un code de calcul par éléments finis, le nom du code et la modélisation utilisée sont indiqués. Le concepteur décrira le maillage retenu (type et nombre d'éléments), les conditions aux limites et les hypothèses retenues.

Pour les structures complexes on fera apparaître en différents nœuds significatifs les coefficients d'influence permettant de définir la contrainte résultant des différents cas de combinaison des efforts à prendre en compte.

Pour tout calcul, les équations, utilisées seules, doivent figurer sous forme littérale avant introduction des valeurs numériques.

6.3.2 Validation de la tenue des pièces

a) Règles générales

En dehors de toute spécification plus restrictive, les codes de calcul suivants sont à respecter : ANSI, AISC, ASTM, AWS, ASNT, NEC, NDSSGL, SAE, LHB, NBS. La réglementation française est intégralement applicable aux moyens d'essai à la date des essais.

b) Matériaux métalliques (à l'exclusion de la visserie)

- Traction / Compression / Flexion / Torsion :

  - Dans le cas de **sollicitations nominales,** les contraintes combinées seront **inférieures à la plus faible valeur de :** **75% de la résistance élastique**
    50% de la résistance à la rupture

  - Dans le cas de **sollicitations exceptionnelles** (défaillance, casse d'une pale ou d'une aube sur un dispositif tournant par exemple), il convient de s'assurer qu'il n'y aura pas de plastification. Dans une telle configuration, les contraintes combinées devront rester **inférieures à 95% de la résistance élastique**

- Flambement :

  La contrainte de flambement sera **inférieure à 50% de la contrainte critique**

- Cisaillement pur :

  La contrainte de cisaillement sera **inférieure à 33% de la résistance élastique**

- Pression de contact :

  La pression de contact sera **inférieure à 67% de la pression admissible.**

  Selon les matériaux mis en œuvre, il peut être difficile d'avoir accès à la valeur de la pression de contact maximale (ou pression de matage). Pour les aciers de Rr > 900 MPa, on peut considérer que la pression de contact maximale est égale à la Re. Pour les aciers de caractéristiques plus basses, il faut tenir compte du pourcentage de carbone. Pour les alliages d'aluminium, la valeur à retenir est de ½ Re. Il est rappelé que cette approche est valable pour des pressions de contact statiques et non des chocs.

c) Polymères

Sauf cas particulier à justifier, l'ONERA déconseille l'utilisation de matériaux polymères pour les éléments de structure.

Propriété de l'ONERA - Reproduction, communication, utilisation
même partielles interdites sans accord écrit préalable

Seuls l'original et la version électronique font foi. Ne pas imprimer, sauf pour usage temporaire.

Dans tous les cas les limites de contraintes considérées devront être justifiées par le concepteur en fonction du matériau utilisé (thermoplastiques, thermodurcissables, ½ cristallin, amorphe, …) et des conditions d'utilisation (température, hygrométrie, fréquence).

d) Pièces réalisées par fabrication additive

Les valeurs limites de contraintes sont celles appliquées aux matériaux métalliques ou polymères selon le matériau mis en œuvre.

Le concepteur/fabricant de telles pièces doit s'assurer, par exemple par des essais dédiés sur éprouvettes, des caractéristiques mécaniques réelles du matériau élaboré par impression 3D. Les éprouvettes devront être élaborées sur la même machine, avec la même poudre et selon la même méthode d'élaboration (direction de construction) que les pièces envisagées. Les directions de sollicitations principales devront être identiques.

Dans le cas de pièces potentiellement soumises à des chargements dynamiques significatifs, le concepteur/fabricant s'assurera par des essais de fatigue sur éprouvette du niveau de contrainte maximal acceptable pour une durée de vie infinie du matériau.

Dans le cas où le concepteur/fabricant dispose d'une base de données expérimentales mise en place pour la qualification d'un tel processus de fabrication, il devra démontrer que toutes les pièces prévues en impression 3D pour une application spécifique sont élaborées dans des conditions comprises dans la base de données. Si tel n'est pas le cas, le concepteur/fabricant devra s'assurer par des essais complémentaires que les modifications sont sans impact sur les caractéristiques mécaniques finales des pièces.

e) Matériaux composites

Pour vérifier la tenue des pièces en statique le concepteur s'appuiera sur un critère d'endommagement à préciser (Tsai Wu, Tsai Hill, Yamada Sun, …). Cependant, sauf cas particulier à justifier, l'ONERA déconseille l'utilisation de matériaux composites pour les éléments de structure.

f) Matériaux de remplissage

Les matériaux utilisés doivent avoir été approuvés par l'ONERA après communication des conditions d'utilisation prévues (accrochage, épaisseur, masse, …) et éventuellement communication des principales propriétés.

g) Eléments sous pression (air, gaz)

- <u>Normes et règlementation :</u>

Les équipements soumis à une pression maximale admissible (PS) supérieure à 0,5 bar entrent dans le champ d'application de la DESP 2014/68/UE. Les catégories de risques I à III doivent satisfaire aux exigences essentielles de sécurité de la DESP et donc au décret de transposition N° 2015-799 du 1er juillet 2015. Les ESP entrant dans le cadre de l'article 4.3 de cette directive peuvent ne pas satisfaire à ces exigences essentielles de sécurité.

L'annexe I quant à elle définit les critères de dimensionnement à respecter.

Tout matériel neuf à partir de la Catégorie I doit faire l'objet d'un marquage CE (en Catégorie I le fabricant est auto-certificateur). Le périmètre de ce marquage peut également couvrir des aspects électriques, Directive Machines…Ce périmètre doit être précisé dans la « Déclaration de conformité CE » associée à l'équipement soumis à la pression.

Les codes de construction de référence seront préférentiellement le CODAP pour un réservoir, le CODETI pour une tuyauterie, le CODAP ou le CODETI pour les accessoires. L'expérience montre que généralement une maquette, un montage ou un banc d'essai relèvent de la catégorie tuyauterie.

Les matériaux utilisés pour un équipement soumis à la pression relevant des catégories I à III, doivent être conformes à la Directive (Annexe I, paragraphe 7.5) en ce qui concerne l'allongement et la résilience.

Propriété de l'ONERA - Reproduction, communication, utilisation
même partielles interdites sans accord écrit préalable

Seuls l'original et la version électronique font foi. Ne pas imprimer, sauf pour usage temporaire.

Des épreuves spécifiques sur éprouvettes peuvent ainsi être requises si ces valeurs ne sont pas garanties par une norme harmonisée d'approvisionnement. Une attention particulière doit être portée aux certificats matière requis (type 3.1).

De même, les matériaux pour la visserie doivent être conformes aux critères de la Directive. On favorisera l'utilisation de matériaux de type 30 CND8, 42 CrMo4… La visserie de classe 8.8 ne peut être retenue pour une utilisation primaire mais seulement en dépannage (sous réserve d'une demande de dérogation). La norme harmonisée NF EN 10269 de décembre 2013 (Aciers et alliages de nickel pour éléments de fixation utilisés à température élevée et/ou basse température) indique les matériaux que l'on peut utiliser avec leurs caractéristiques mécaniques à T ambiante ou températures élevées, allongement, etc.

Nota : Dans le cas d'un équipement soumis à la pression fourni par un client hors CE, ce dernier devra fournir a minima les documents exigibles pour la catégorie I (voir annexe I de la Directive), même si la règlementation en vigueur dans le pays d'origine ne les exige pas.

Le recours à l'assistance de l'APAVE pourra être demandé par le responsable d'essai au client qui conçoit/fabrique un équipement soumis à la pression. Dans ce cas, cette demande sera faite dès le début du projet.

- Domaine de fonctionnement :

Durant la phase de conception, la définition des limites de calcul et/ou d'utilisation associées à la présence d'organes de sécurité (soupape, pressostat…) et à l'intégration éventuelle dans un réseau existant doit être validée en accord avec le responsable d'essai et/ou d'installation. (Voir Annexe C).

- Epreuves :

Tout équipement soumis à la pression doit faire l'objet d'une épreuve hydrostatique avant sa mise en service en soufflerie. Cette épreuve doit être menée en s'appuyant par exemple sur les règles du CODETI (liquide, pression, paliers de mise en pression…). Tous les matériels (bouchons, visserie…) spécifiques à la réalisation de cette épreuve doivent être fournis en même temps que l'équipement soumis à la pression de manière à pouvoir être utilisés pour des essais d'étanchéité préalables à sa mise en service en soufflerie.

- Livrables :

Pour tout équipement soumis à la pression, un plan d'ensemble ainsi que la liste de la visserie et des joints et un tableau récapitulatif des couples de serrage doivent être fournis. Dans la mesure du possible, les plans de détail des pièces feront apparaître les indications suivantes : nature, type de fluide (pour l'exploitation ou pour l'épreuve hydrostatique), PS, TS, V, DN.

- Equipements existants :

Dans le cas d'un moyen d'essai ayant déjà été essayés en soufflerie par le passé, une analyse de risque au cas par cas doit être menée. Cette analyse pourra déclencher des mesures compensatoires.

h) Fatigue

Pour valider la tenue à la fatigue des pièces, les contraintes de pic alternées et moyenne calculées seront à considérer dans un diagramme de Haigh, Goodman ou équivalent.

Des courbes de Wöhler spécifiques au matériau considéré peuvent être utilisées, soit à partir de la littérature existante, ou par construction.

Dans le cas de pièces réalisées par fabrication additive, une attention particulière sera portée sur le mode de détermination de la contrainte dynamique équivalente (essais sur éprouvettes suiveuses, certificats, …).

6.3.3 Validation des liaisons

a) Remarques générales

Propriété de l'ONERA - Reproduction, communication, utilisation
même partielles interdites sans accord écrit préalable

Seuls l'original et la version électronique font foi. Ne pas imprimer, sauf pour usage temporaire.

Par défaut, tous les efforts doivent être transmis par entrainements positifs (clavettes, pions, épaulements, …). La reprise d'efforts par du frottement seul ne peut être envisagée que sous certaines conditions précisées ci-après.

Les vis d'assemblage de différentes parties d'une maquette, d'un montage ou d'un banc d'essai ne doivent pas servir à reprendre des efforts de cisaillement.

b) Assemblages vissés

- Calcul des contraintes :

Le dimensionnement de la visserie sera réalisé en considérant les efforts statiques majorés par les coefficients dynamiques connus ou définis en §6.1. L'assemblage doit être conçu pour résister à l'absence de la vis la plus chargée, telle que définie par calcul.

La contrainte dans la visserie ne doit pas excéder **80 % de sa limite élastique (Re)**. Les assemblages boulonnés doivent être précontraints, **jusqu'à un maximum 70 % de Re, pour éviter la séparation sous efforts**. Noter qu'on ne dépassera pas Rr = 1400 MPa dans la visserie.

Afin de limiter les calculs de couples de serrage, un **tableau standard** peut être utilisé (voir Annexe B). Les couples indiqués dans ce tableau correspondent au couple calculé pour une contrainte dans la vis égale à 50% de sa limite élastique.

Si la force appliquée est supérieure à celle indiquée dans le tableau standard, le couple de serrage de la visserie est défini en utilisant les codes NBS, CETIM ou méthode de calcul équivalente, prenant en compte les rapports de rigidité de l'assemblage et la contrainte de torsion au serrage.

Le type de graissage utilisé est à mentionner explicitement avec les couples de serrage.

- Choix techniques :

Pour les vis de diamètre égal ou inférieur à M3, l'utilisation d'empreinte de type Torx est fortement recommandée pour éviter l'endommagement de celles-ci lors de l'application des couples de serrage. Une empreinte de type Philips/Pozidriv est une alternative recevable.

Le choix du type de visserie prendra en compte la dureté relative des matériaux pour éviter les problèmes de " gale ".

Concernant la visserie spéciale, un soin particulier sera apporté aux formes des vis pour limiter les concentrations de contraintes.

Dans le cas d'assemblage de pièces en polymère ou en alliage léger, l'utilisation d'inserts dédiés est requise de manière à limiter les risques d'endommagement des taraudages lors des montages et démontages successifs. Si pour des raisons d'encombrement de tels inserts ne peuvent être installés, un calcul de couple de serrage spécifique pourra être nécessaire afin d'éviter un arrachage éventuel des filets lors de l'assemblage.

La nature du frein filet sera choisie de façon à garantir un démontage aisé des vis après essai. L'utilisation du frein filet fort est déconseillée.

- Livrables :

Pour chaque assemblage les informations suivantes seront fournies : type de vis, quantité, classe, couple de serrage (si hors « standard ONERA/DS »), et, si besoin, le type de graissage et le mode de freinage. Ces informations seront indiquées sur les plans ou sur la notice de montage

Prévoir des vis de rechange, notamment pour les vis « aéro » ou non standard, et dans le cas d'assemblages pour lesquels plusieurs démontages sont prévus au cours d'une même campagne d'essai.

c) Assemblages soudés

L'assemblage par soudure doit faire l'objet d'un dimensionnement adapté, notamment en ce qui concerne les contraintes dues aux sollicitations dynamiques dans les cordons de soudure. Le calcul de ces contraintes alternées et de l'endommagement doit se faire en accord avec l'Eurocode 3 norme NF-P-22-311-9, partie 1-8.

Propriété de l'ONERA - Reproduction, communication, utilisation
même partielles interdites sans accord écrit préalable

Dans le cas où un assemblage par soudure est retenu, il convient d'établir un cahier de soudage avec les caractéristiques du soudage, les procédés, les matériaux et le métal d'apport (DMOS) ainsi que la qualification (QMOS) nécessaire pour l'exécution, suivant le modèle défini par l'Institut de Soudure par exemple, et selon les codes AWS, AISC, …

d) Transmission d'efforts par frottement

Lorsque la conception l'impose, une solution basée sur la transmission d'efforts par frottement peut être retenue, sous réserve qu'elle satisfasse aux conditions suivantes :

- la reprise des efforts ne concerne pas une des pièces primaires d'une structure
- le facteur de sécurité sur le coefficient de frottement entre les pièces en contact proposé par le concepteur a été validé par un des bureaux d'études de ONERA/DS
- une défaillance du frottement ne conduit pas à une augmentation des chargements aérodynamiques sur l'ensemble d'une maquette.

e) Autres liaisons

Pour les éléments en contact mobile (glissant ou tournant) on indiquera le coefficient de frottement utilisé, la pression de contact admise et la lubrification correspondante préconisée.

La note de calculs doit également justifier le dimensionnement de toute motorisation intégrée au moyen d'essai, et en préciser les caractéristiques : répétabilité de position, précision absolue du positionnement, freinage.

6.4 DEFORMATIONS

Les déplacements ou déformations pouvant impliquer une variation des hypothèses sur les efforts (ex : changement des efforts aérodynamiques) ou des calculs de résistance (ex : contacts supplémentaires impliquant une répartition différente de contraintes) doivent faire l'objet de vérifications figurant dans la note de calculs.

Dans le cas de maquettes complètes, les surfaces portantes droite et gauche doivent être conçues de manière à assurer une déformation et un comportement vibratoire identiques.

6.5 STABILITE ET COMPORTEMENT DYNAMIQUE

6.5.1 Divergence statique

Un facteur de sécurité de 3 est à utiliser pour le calcul de divergence des éléments constituant le moyen d'essai.

6.5.2 Divergence dynamique et flottement

Un facteur de sécurité de 2 est à retenir en plus des facteurs de majoration de la part dynamique indiqués ci-dessus. Il est à souligner qu'une démarche de conception s'appuyant sur un dispositif substantiel de surveillance durant l'essai (jauges, accéléromètres…) et permettant de limiter en temps réel les contraintes maximales dans la structure susceptible de subir un départ en flottement est recevable. Toutefois, une telle démarche devra être présentée en début de phase de conception à un BE de ONERA/DS de manière à être validée.

6.5.3 Risques de couplage mécanique

Tous les sous-ensembles qui présentent un risque de couplage mécanique dont la rupture pourrait affecter la sécurité des installations feront l'objet d'un calcul de fréquences propres au moins avec indication des conditions limites retenues pour représenter leur fixation dans le calcul. On vérifiera par ailleurs que la perte d'un tel élément ne constitue pas un cas de charge dimensionnant pour la tenue globale du moyen d'essai concerné. Les risques de couplage des modes seront systématiquement examinés pour les éléments avec des mouvements de rotation.

Seuls l'original et la version électronique font foi. Ne pas imprimer, sauf pour usage temporaire.

Propriété de l'ONERA - Reproduction, communication, utilisation
même partielles interdites sans accord écrit préalable

7 AUTRES SPECIFICATIONS A RESPECTER

7.1 MARQUAGE

Chaque pièce mécanique qui compose le moyen d'essai doit être marquée de manière inaltérable au n° du plan correspondant.

Nota : La technique de marquage (gravage, marquage laser, marquage chimique…) doit tenir compte des sollicitations auxquelles sera soumise la pièce. Le marquage ne doit pas entraîner d'amorce de fissure/rupture par exemple dans le cas de pièce soumise à la pression.

7.2 REFERENCES

Toutes les possibilités de mise en place de points de repère pérennes sur le moyen d'essai seront étudiées pour faciliter l'utilisation de celui-ci :

- équiper les maquettes complètes et les bancs d'essai de repères permettant l'alignement par rapport à l'axe veine (piges d'alignement par exemple) ;
- matérialiser la référence horizontale fuselage (RHF) sur les ½ maquettes ;
- ajouter des repères en % de corde, pour aider au positionnement des transitions ou des marqueurs MDM ;
- s'il y a lieu, prévoir des points d'application des chargements pour la vérification et le centrage des différentes balances équipant la maquette ou le banc d'essai, y compris sur surfaces mobiles pesées (Nota : lorsqu'il faut étalonner des balances de moments de charnières, il est nécessaire de prévoir des dispositifs pour l'application des chargements réparties sur l'envergure de cette surface).

7.3 MANIPULATION ET UTILISATION

7.3.1 Manipulation

Pour toutes les pièces dont les dimensions et ou le poids ne permettent pas la manipulation par une personne seule, le concepteur prévoira des dispositifs de manutention adaptés à l'installation concernée (points de levage, points d'extraction ou de préhension). Il veillera à l'équilibre de ces pièces seules posées et à leur taille vis-à-vis de celle des locaux de préparation. Les plans de ces pièces préciseront leur poids et la position de leur CDG.

Dans le cas de moyens d'essai de grandes dimensions, leur découpage en sous-ensembles pourra être requis afin de permettre leur manutention et l'accès aux locaux de préparation et à la veine d'essai. La conception et la réalisation de dispositifs de manutention spécifiques (chariots, palonniers…) pourra être requise. La conception de tels équipements devra faire l'objet de discussions avec les responsables d'essai et/ou responsables de montage afin qu'elle soit validée.

Toutes les pièces seront livrées soigneusement ébavurées et nettoyées.

Toutes les parties saillantes, coupantes, tranchantes et/ou fragiles seront munies de protections appropriées et réutilisables.

7.3.2 Utilisation

a) Règles générales

La conception d'un moyen d'essai devra être faite de façon à :

- garantir la fidélité lors des opérations de montage / démontage ;
- limiter au maximum les circulations d'air parasites dans la maquette ou le banc d'essai ;
- optimiser l'accessibilité à l'instrumentation interne (ordre de montage des capots, trappes de visite…) ;
- assurer la simplicité des changements de configuration (minimum de vis, …) ;
- garantir une bonne accessibilité pour les outils ;
- garantir, lorsque nécessaire, la mise en place des broches de verrouillage balance ;
- prendre en compte les conditions thermiques de l'installation d'essai.

Seuls l'original et la version électronique font foi. Ne pas imprimer, sauf pour usage temporaire.

Propriété de l'ONERA - Reproduction, communication, utilisation
même partielles interdites sans accord écrit préalable

Seuls l'original et la version électronique font foi. Ne pas imprimer, sauf pour usage temporaire.

b) Capots

Une attention toute particulière est à apporter à la conception et à la fixation des capots. La liaison doit prendre en compte leur comportement aux dilatations thermiques, aux vibrations et aux effets de pression. Leurs plans de joints doivent, si possible, se situer en aval des zones de déclenchement de la transition.

c) Parties tournantes

Pour les maquettes ou bancs d'essai avec parties tournantes, les zones d'ajout ou de retrait de matière seront déterminées, la classe d'équilibrage sera définie, les équilibrages seront réalisés de préférence sur des ensembles qui ne seront pas démontés après équilibrage (à défaut un repérage azimutal très précis des différentes pièces sera mis en place). Une copie des procès-verbaux d'équilibrage sera transmise aux équipes soufflerie. La durée de vie des éléments tournants sera définie dans la note de calculs. Dans la mesure du possible, des roulements étanches seront privilégiés. A défaut, la procédure exacte de graissage ainsi que sa fréquence seront données par le concepteur. Le recours à un dispositif de lubrification à huile perdue devra faire l'objet d'un accord préalable avec les équipes soufflerie.

d) Etats de surface

Les finitions des surfaces d'une maquette ou d'un banc d'essai devront être choisies compte tenu des contraintes en essai : tenue des peintures aux solvants, compatibilité des états de surface avec des techniques d'essais spécifiques comme les mesures infra rouge, les mesures par peintures PSP (selon les recommandations spécifiques aux mesures optiques) …

e) Rechanges

Pour les pièces d'usure, un stock de pièces de rechange sera fourni si nécessaire.

8 EQUIPEMENT

8.1 REGLES GENERALES

Le concepteur établit un plan ou un schéma d'équipement du moyen d'essai, avec indication des caractéristiques des capteurs prévus et de leur emplacement. **Pour tout équipement, les connexions (électriques, hydrauliques, pneumatiques, mécaniques,…) doivent être définies en relation avec les responsables soufflerie.**

8.2 PRISES DE PRESSION

8.2.1 Implantation

L'implantation des prises de pression sera guidée par les impératifs de mesure en essai mais aussi, dans la mesure du possible, par les contraintes liées au contrôle de ces prises de pression en préparation d'essai.

Le diamètre minimal recommandé pour les prises est de 0,3mm. Les prises de pression apparentes doivent être protégées contre l'obturation par un moyen adapté (scotch spécifique ou autre) lors de la livraison du moyen d'essai.

8.2.2 Connexion

Le raccordement des prises de pression sera réalisé soit à l'aide de tuyaux souples en vinyle (diamètre 0.8 – 1,7 mm) soit en tube inox état recuit (diamètre 0,6 – 1 mm). **L'emploi de tube en silicone est interdit**. Lors de l'utilisation d'un nombre important de prises, le raccordement s'effectue par connecteur PSI (voir exemple en **Annexe A**). Le modèle de connecteur à utiliser est à définir en accord avec le responsable d'essai.

8.2.3 Cas particuliers

Pour les maquettes équipées de nacelles, il faut installer systématiquement des prises statiques internes dans les différentes nacelles, même placées symétriquement sur la maquette. L'hypothèse de symétrie ne vaut plus dès lors que l'on fait du dérapage. Pour les culots épais, prévoir une prise de pression au culot pour les corrections éventuelles. La nécessité d'une ou

Propriété de l'ONERA - Reproduction, communication, utilisation
même partielles interdites sans accord écrit préalable

plusieurs prises de pression pour permettre la correction de pression de cavité ou de coupure doit être discutée avec le responsable d'essai lors de la conception du moyen d'essai.

8.3 AUTRES CAPTEURS

Si nécessaire, ONERA/DS pourra fournir au concepteur les dimensions de certains capteurs à implanter dans le moyen d'essai. L'implantation de ces capteurs, proposée par le concepteur, doit être validée par les équipes souffleries. Des dispositifs de protection seront à prévoir pour les capteurs particulièrement fragiles. Si techniquement possible, des trappes d'accès (ou des capots) doivent permettre d'accéder rapidement à l'instrumentation.

8.4 PASSAGE DES CABLAGES ELECTRIQUES, DES PRISES ELECTRIQUES ET DES VINYLES

Le concepteur doit tenir compte du passage des câblages électriques et de leurs prises ainsi que le passage des tubes de pression présents sur la maquette ou le banc d'essai. Il ne doit pas y avoir d'angles saillants dans les passages de câbles qui présenteront également des rayons de courbure suffisants. Le concepteur privilégiera dans la mesure du possible les passages à ouvertures complètes pour éviter d'avoir à décâbler des connecteurs.

Le découplage autour de la balance doit être soigneusement étudié : cheminement, compatibilité électromagnétique, rigidité des câbles…

8.5 NIVEAUX

Prévoir la mise en place d'un support de niveau sur le moyen d'essai permettant de positionner les clinomètres d'étalonnage en tangage et en roulis. Sont concernés non seulement le moyen d'essai, mais également les surfaces mobiles le cas échéant (motorisations ou éléments équipés de balance). Le concepteur se rapprochera systématiquement des équipes souffleries pour connaître les spécificités propres à chaque installation pour la définition de cette pièce (taille, poids, fidélité de positionnement…).

Calage à incidence et dérapage nul : dans la mesure du possible, une surface permettant l'implantation à demeure d'un double niveau à bulle (tangage et roulis) est à prévoir. Ce niveau à bulle sera recouvert d'un capot transparent pour lequel on veillera aux effets de dilatations vis-à-vis des parties métalliques.

8.6 SYSTEMES MOTORISES

Les spécifications des motorisations doivent faire l'objet d'une concertation avec l'équipe soufflerie.

Ces systèmes doivent posséder dans la mesure du possible une sécurité active (blocage ou retour à une position de sécurité par manque d'énergie). Dans le cas contraire, il faut justifier qu'une perte de contrôle du système ne provoque pas d'efforts incompatibles avec l'intégrité de la maquette ou du banc d'essai ni de mise en danger des personnels lors des phases de préparation. Ces systèmes doivent être équipés de fins de course et de protection électrique (fusible ou protection thermique).

De manière plus générale, le concepteur s'assure que les exigences réglementaires permettant d'assurer la sécurité des intervenants (Directive Machines, DESP, Atex, …) sont bien prises en compte et respectées.

8.7 SECURITE ELECTRIQUE

Les normes françaises concernant les matériels électriques et leurs conditions d'utilisation sont intégralement applicables aux moyens d'essais dans l'environnement des installations d'essais.

Seuls l'original et la version électronique font foi. Ne pas imprimer, sauf pour usage temporaire.

Propriété de l'ONERA - Reproduction, communication, utilisation
même partielles interdites sans accord écrit préalable

Pour toutes les configurations spécifiques (mise en œuvre de forts voltages…) le concepteur entrera en contact dès les phases de conception préliminaires avec les équipes souffleries pour définir au mieux les moyens de protection nécessaires pour les personnels.

Seuls l'original et la version électronique font foi. Ne pas imprimer, sauf pour usage temporaire.

9 CONTROLE

9.1 REGLES GENERALES

La réalisation d'un moyen d'essai, les approvisionnements des matières et des composants, la fabrication proprement dite, les contrôles et les vérifications associés, doivent être effectués en conformité avec le dossier de définition.

Des procès-verbaux de contrôles signifiant l'acceptation de la fourniture doivent être établis. Il s'agit de valider : les matériaux, les traitements thermiques éventuels, la géométrie, les états de surface, les traitements de surface, les assemblages, la visserie, les équipements, le câblage, tout autre composant constituant le moyen d'essai, ainsi que les éventuelles dérogations. Le cas échéant, ces procès-verbaux concerneront la simulation de chargements, la réalisation d'épreuves, l'équilibrage des parties tournantes, ou encore la validation des motorisations.

Les spécifications des contrôles à effectuer sont de la responsabilité du concepteur et du client. Elles sont définies en fin de phase de conception. La spécification des contrôles est une donnée de sortie de la conception et à ce titre fait partie intégrante du dossier de définition.

Ces contrôles après fabrications doivent être réalisés pour toutes les configurations. Lorsque cela est possible, il faut vérifier les montages au plus tôt dans la chaîne de réalisation. Il est recommandé que ces montages « à blanc » se fassent en présence du responsable de montage en soufflerie et/ou du responsable d'essai.

Le fournisseur doit s'assurer de la conformité des pièces et, s'il y a lieu, de l'engagement des actions correctives AVANT expédition du matériel vers la soufflerie.

9.2 CONTROLE DES MATERIAUX

La vérification de l'intégrité des matériaux de structure à l'aide de méthodes non destructives de recherche de défauts (ressuage, magnétoscopie, ultrasons, radiographie,…) peut être requise, notamment pour des pièces primaires de structure. Le choix du moyen le plus approprié est fonction de la nature et de la forme des pièces à inspecter.

Pour le cas des matériaux composites, des méthodes adaptées pourront être utilisées pour s'assurer que les risques de délamination, inclusion, contamination sont exclus. L'orientation des fibres doit faire l'objet d'un relevé.

La fourniture de certificats matière pour les matériaux de structure est requise.

9.3 CONTROLE DE GEOMETRIE

Il convient de procéder à la vérification intégrale des cotes tolérancées et des états de surface.

Ces contrôles devront, le cas échéant, être pris en compte pour vérifier que les conclusions du calcul de résistance ne sont pas modifiées.

9.4 CONTROLE DES ASSEMBLAGES

9.4.1 Visserie

Le respect des couples de serrage préconisés sera assuré par l'utilisation systématique d'un outillage dynamométrique étalonné ou de dispositifs mesurant directement la précontrainte.

La classe de la visserie et les procédés d'assemblage (graissage, freinage…) seront contrôlés.

Propriété de l'ONERA - Reproduction, communication, utilisation
même partielles interdites sans accord écrit préalable

Seuls l'original et la version électronique font foi. Ne pas imprimer, sauf pour usage temporaire.

9.4.2 Soudures

Les éléments soudés font l'objet de contrôles particuliers en cours de réalisation et prévus dans le cahier de soudage conformément aux normes : qualification du soudeur, qualification de procédé sur éprouvette d'essai, etc. sous contrôle d'un organisme officiel indépendant du fabricant.

Dans le cas où un assemblage par soudure est retenu pour les pièces primaires d'une structure ou pour des éléments dont la rupture amènerait à la séparation de pièces d'une maquette (pattes de volet par exemple), d'un montage ou d'un banc d'essai lors de l'essai en soufflerie, les soudures devront être totalement contrôlées (par ressuage, magnétoscopie, ultrasons, radioscopie ou radiographie à déterminer) afin de s'assurer de leur réalisation (absence de fissures, de soufflures, d'inclusions…).

9.5 SIMULATION DE CHARGEMENTS

Des vérifications de comportement sous charge peuvent être exigées par l'ONERA après examen du dossier de calcul. Elles sont impératives dans les cas suivants :

- utilisation de matériaux composites : 150 % de la charge statique nominale ou 100% de la contrainte statique équivalente (dans le cas de pièces sollicitées en fatigue) aux températures extrêmes du domaine prévu ;
- système sous pression : 143 % de la pression maximale admissible avec simulation d'autres chargement si la configuration du moyen d'essai le requiert ;
- motorisation de gouvernes : 100% des efforts maximum.

Le mode opératoire de vérification du comportement sous charge fait partie des spécifications de contrôle.

9.6 DEROGATIONS

Les non-conformités font l'objet d'une demande de dérogation appuyée, le cas échéant, par la fourniture de calculs de justification supplémentaires. Si nécessaires, les procédés de réparation sont soumis à cette procédure.

10 PRODUITS CHIMIQUES

S'il y a lieu, les fiches de données de sécurité des produits chimiques utilisés dans la réalisation du moyen d'essai (résines, colles, …) ou nécessaires à son fonctionnement (carburant, lubrifiant, …) doivent être transmises à l'ONERA le plus en amont possible pour accord du service de sécurité.

11 RECETTE DU MOYEN D'ESSAI

Une recette du moyen d'essai en présence du client et d'un représentant soufflerie (responsable d'essai et/ou responsable montage) est à prévoir.

Cette recette vise à s'assurer de l'état du matériel avant son expédition en soufflerie aussi bien du point de vue mécanique que du point de vue de son équipement en particulier pour tout ce qui concerne les branchements pneumatiques.

Elle permet également de réaliser un montage à blanc global des différentes configurations devant être essayées, y compris, si possible, avec l'interface soufflerie ou un calibre.

Cette recette vise enfin à s'assurer de la conformité du moyen d'essai avec les spécifications initiales et les objectifs de l'essai.

Propriété de l'ONERA - Reproduction, communication, utilisation
même partielles interdites sans accord écrit préalable

12 NOTICE D'UTILISATION

Le fournisseur du moyen d'essai établit une notice d'utilisation comportant :

- les vues éclatées des différentes configurations avec indication du numéro des pièces utilisées ;
- les instructions de montage,
- les instructions de changement de configuration,
- les inspections périodiques,
- le carnet de bord où seront enregistrés les incidents et événements significatifs.

13 CAISSE DE TRANSPORT ET LIVRAISON

La caisse de transport doit être conçue de manière à être suffisamment robuste et pour permettre sa reprise par transpalette ou élingage. Sa conception interne doit garantir que les pièces ne se déplacent pas à l'intérieur. Il faut munir la caisse de détecteurs ou enregistreurs de chocs pour les éléments particulièrement fragiles.

Une liste des matériels contenus dans la caisse à son départ des locaux du fournisseur doit être disponible dans la caisse. Des photographies des matériels en caisse seront fournies pour faciliter la remise en caisse ultérieure. S'il y a lieu, les instructions particulières relatives à la conservation et au stockage du moyen d'essai et/ou de ses équipements doivent également être fournies.

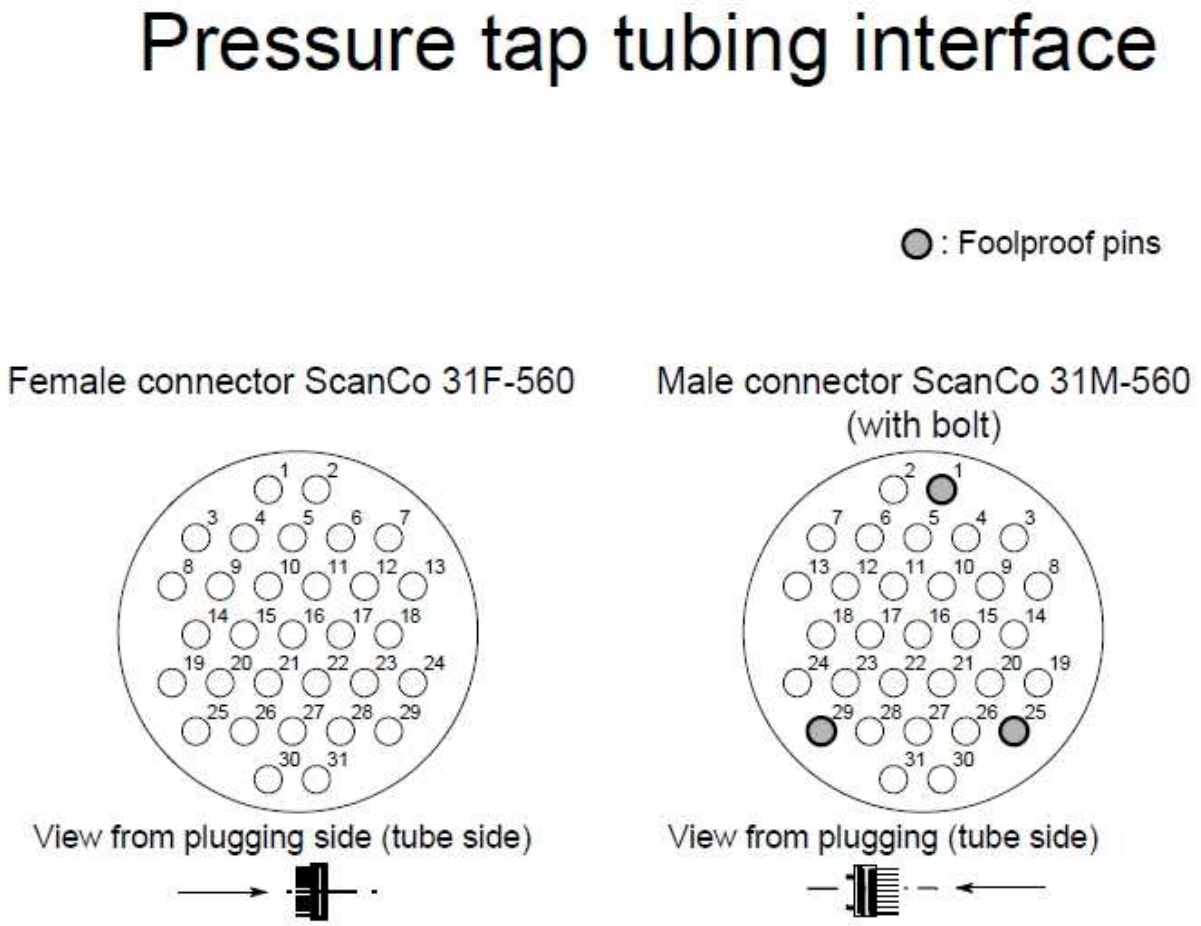
Selon le degré de confidentialité souhaité, il appartient au client de déterminer les indications qui doivent figurer sur les parois externes de la caisse. Compte tenu de la nature des matériels transportés (coût et confidentialité), l'ONERA recommande l'envoi des matériels sur site par des transports du type « sans rupture de charge » plutôt qu'un envoi par groupage.

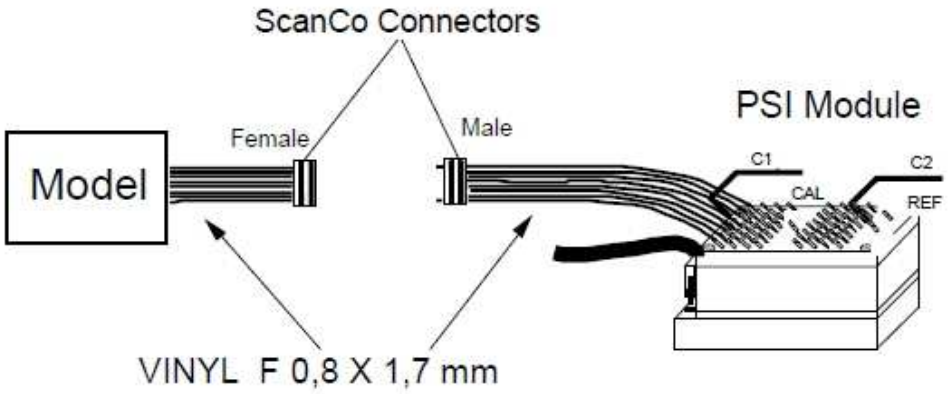
Seuls l'original et la version électronique font foi. Ne pas imprimer, sauf pour usage temporaire.

Propriété de l'ONERA - Reproduction, communication, utilisation
même partielles interdites sans accord écrit préalable

Seuls l'original et la version électronique font foi. Ne pas imprimer, sauf pour usage temporaire.

ANNEXE A - CONNECTIONS DES PRISES DE PRESSION (EXEMPLE DE F1)





Propriété de l'ONERA - Reproduction, communication, utilisation
même partielles interdites sans accord écrit préalable

ANNEXE B - *TABLEAU STANDARD COUPLES DE SERRAGE (1/2)*

Seuls l'original et la version électronique font foi. Ne pas imprimer, sauf pour usage temporaire.

ONERA THE FRENCH AEROSPACE LAB

Force max et couple de serrage des vis 6 pans creux de classe 8.8, 10.9 et 12.9 pour une contrainte de 50% Re

Mise à Jour 26-oct.-12

Annexe 1 de la Procédure AQ/GMT/PG/0410-1.0

Page 1 / 2

Les valeurs sont obtenues avec les hypothèses suivantes :
- Utilisation de la procédure Onera AQ/GMT/PG/0410-1.0 - CALCUL DU COUPLE DE SERRAGE DES VIS
- La valeur de force maximale applicable à la vis indiquée dans le tableau assure le non-décollement de l'assemblage et une contrainte dans la vis <80% Re
- Vis M1.6 à M14 : Les vis utilisées sont neuves, soit un assemblage légèrement huilé (f = 0,15 - Normal)
- Vis M16 à M42 : Les vis utilisées sont neuves, soit un assemblage graissé (f = 0,10 - Italique)
- L'outil de serrage utilisé a une précision ≤+/-10%
- On considère que la longueur filetée de l'assemblage respecte Lf ≥1xØvis pour l'acier ou Lf ≥1,5xØvis pour l'aluminium
- Les couples des vis sans tête sont basés sur l'expérience

	Vis au pas normal tête cylindrique CHC (ISO 4762) et/ou tête basse							Vis au pas fin tête cylindrique CHC (ISO 4762) et/ou tête basse						
	Classe de vis / Ø	F = Force max applicable à la vis (N)			C = Couple de serrage (N.m)			F = Force max applicable à la vis (N)			C = Couple de serrage (N.m)			Classe de vis / Ø
		Classe 8.8	Classe 10.9	Classe 12.9	Classe 8.8	Classe 10.9	Classe 12.9	Classe 8.8	Classe 10.9	Classe 12.9	Classe 8.8	Classe 10.9	Classe 12.9	
Légèrement huilé (f = 0,15)	M 1,6	240	338	405	0,10	0,14	0,17	-	-	-	-	-	-	-
	M 2	399	562	674	0,21	0,29	0,35	-	-	-	-	-	-	-
	M 2,5	666	936	1 123	0,40	0,56	0,68	-	-	-	-	-	-	-
	M 3	1 000	1 406	1 687	0,74	1,03	1,24	-	-	-	-	-	-	-
	M 4	1 731	2 434	2 921	1,67	2,35	2,82	-	-	-	-	-	-	-
	M 5	2 834	3 986	4 783	3,34	4,69	5,63	-	-	-	-	-	-	-
	M 6	3 998	5 622	6 747	5,62	7,90	9,48	-	-	-	-	-	-	-
	M 8	7 340	10 322	12 386	13,60	19,12	22,95	8 059	11 333	13 600	14,70	20,68	24,81	M 8 x 1
	M 10	11 689	16 438	19 726	26,75	37,61	45,13	12 593	17 709	21 250	28,46	40,02	48,02	M 10 x 1,25
	M 12	17 046	23 971	28 765	46,00	64,68	77,62	19 254	27 076	32 491	50,86	71,52	85,82	M 12 x 1,25
	M 14	23 410	32 921	39 505	72,77	102,34	122,81	25 986	36 543	43 852	79,30	111,52	133,82	M 14 x 1,5
Graissé (f = 0,10)	*M 16*	*35 536*	*49 972*	*59 966*	*87,87*	*123,56*	*148,28*	*38 703*	*54 426*	*65 311*	*93,09*	*130,91*	*157,09*	*M 16 x 1,5*
	M 18	*43 238*	*60 804*	*72 965*	*121,43*	*170,77*	*204,92*	*50 350*	*70 804*	*84 965*	*134,62*	*189,31*	*227,17*	*M 18 x 1,5*
	M 20	*55 524*	*78 081*	*93 698*	*170,84*	*240,25*	*288,30*	*63 522*	*89 328*	*107 194*	*186,89*	*262,82*	*315,38*	*M 20 x 1,5*
	M 22	*69 338*	*97 507*	*117 008*	*231,96*	*326,20*	*391,43*	*78 221*	*109 998*	*131 998*	*251,14*	*353,16*	*423,79*	*M 22 x 1,5*
	M 24	*79 955*	*112 437*	*134 925*	*294,33*	*413,90*	*496,68*	*89 511*	*125 874*	*151 049*	*317,44*	*446,40*	*535,68*	*M 24 x 2*
	M 27	*105 164*	*147 886*	*177 464*	*428,01*	*601,89*	*722,27*	*116 047*	*163 191*	*195 829*	*456,67*	*642,19*	*770,62*	*M 27 x 2*
	M 30	*127 862*	*179 806*	*215 767*	*585,82*	*823,81*	*988,57*	*146 016*	*205 335*	*246 402*	*639,48*	*899,27*	*1079,12*	*M 30 x 2*
	M 33	*159 276*	*223 982*	*268 778*	*791,67*	*1 113,29*	*1 335,95*	*179 418*	*252 306*	*302 767*	*855,52*	*1203,07*	*1443,69*	*M 33 x 2*
	M 36	*186 958*	*262 909*	*315 491*	*1 019,74*	*1 434,01*	*1 720,81*	*201 399*	*283 217*	*339 860*	*1 071,37*	*1506,61*	*1807,93*	*M 36 x 3*
	M 39	*224 577*	*315 812*	*378 974*	*1 306,01*	*1 836,57*	*2 203,88*	*240 345*	*337 985*	*405 581*	*1 365,31*	*1919,97*	*2303,96*	*M 39 x 3*
	M 42	*257 243*	*361 747*	*434 097*	*1 620,46*	*2 278,77*	*2 734,52*	*282 724*	*397 580*	*477 096*	*1 723,82*	*2424,12*	*2908,94*	*M 42 x 3*

	Vis au pas normal tête HC (ISO 4017)									Vis au pas normal sans tête (ISO 4026)				
	Classe de vis / Ø	F = Force max applicable à la vis (N)				C = Couple de serrage (N.m)				F = Force max applicable à la vis (N)		C = Couple de serrage (N.m)		Classe de vis / Ø
		Classe 8.8	Classe 10.9	Classe 12.9	Classe 14.9	Classe 8.8	Classe 10.9	Classe 12.9	Classe 14.9	Classe 12.9	Classe 14.9	Classe 12.9	Classe 14.9	
Légèrement huilé (f = 0,15)	M 1,6	240	338	405	473	0,10	0,14	0,17	0,20	-	-	-	-	M 1,6
	M 2	399	562	674	786	0,21	0,29	0,35	0,41	-	-	-	-	M 2
	M 2,5	666	936	1 123	1 310	0,41	0,58	0,70	0,82	-	-	-	-	M 2,5
	M 3	1 000	1 406	1 687	1 968	0,74	1,03	1,24	1,45	-	-	0,47	0,55	M 3
	M 4	1 731	2 434	2 921	3 408	1,67	2,35	2,82	3,29	-	-	1,16	1,360	M 4
	M 5	2 834	3 986	4 783	5 580	3,28	4,61	5,53	6,45	-	-	1,95	2,280	M 5
	M 6	3 998	5 622	6 747	7 871	5,62	7,90	9,48	11,06	-	-	3,92	4,570	M 6
	M 8	7 340	10 322	12 386	14 451	13,60	19,12	22,95	26,77	-	-	8,25	9,630	M 8
	M 10	11 689	16 438	19 726	23 014	26,75	37,61	45,13	52,66	-	-	16,54	19,300	M 10
	M 12	17 046	23 971	28 765	33 560	46,00	64,68	77,62	90,56	-	-	29,60	34,600	M 12
	M 14	23 410	32 921	39 505	46 089	72,77	102,34	122,81	143,27	-	-	-	-	M 14
Graissé (f = 0,10)	*M 16*	*35 536*	*49 972*	*59 966*	*69 961*	*87,87*	*123,56*	*148,28*	*172,99*	-	-	70,40	82,100	M 16
	M 18	*43 238*	*60 804*	*72 965*	*85 125*	*121,43*	*170,77*	*204,92*	*239,07*	-	-	135,40	158,000	M 18
	M 20	*55 524*	*78 081*	*93 698*	*109 314*	*170,84*	*240,25*	*288,30*	*336,35*	-	-	-	-	M 20
	M 22	*69 338*	*97 507*	*117 008*	*136 510*	*233,89*	*328,90*	*394,69*	*460,47*	-	-	-	-	M 22
	M 24	*79 955*	*112 437*	*134 925*	*157 412*	*294,33*	*413,90*	*496,68*	*579,46*	-	-	-	-	M 24
	M 27	*105 164*	*147 886*	*177 464*	*207 041*	*430,93*	*606,00*	*727,20*	*848,40*	-	-	-	-	M 27
	M 30	*127 862*	*179 806*	*215 767*	*251 728*	*589,37*	*828,81*	*994,57*	*1 160,33*	-	-	-	-	M 30
	M 33	*159 276*	*223 982*	*268 778*	*313 575*	*791,67*	*1 113,29*	*1 335,95*	*1 558,61*	-	-	-	-	M 33
	M 36	*186 958*	*262 909*	*315 491*	*368 073*	*1 024,93*	*1 441,31*	*1 729,58*	*2 017,84*	-	-	-	-	M 36
	M 39	*224 577*	*315 812*	*378 974*	*442 136*	*1 318,48*	*1 854,11*	*2 224,94*	*2 595,76*	-	-	-	-	M 39
	M 42	*257 243*	*361 747*	*434 097*	*506 446*	*1 634,75*	*2 298,86*	*2 758,64*	*3 218,41*	-	-	-	-	M 42

Propriété de l'ONERA - Reproduction, communication, utilisation
même partielles interdites sans accord écrit préalable

ANNEXE B - *TABLEAU STANDARD COUPLES DE SERRAGE (2/2)*

Seuls l'original et la version électronique font foi. Ne pas imprimer, sauf pour usage temporaire.

ONERA THE FRENCH AEROSPACE LAB

Force max et couple de serrage des vis 6 pans creux de classe 8.8, 10.9 et 12.9 pour une contrainte de 50% Re

Mise à Jour 26-oct.-12

Annexe 1 de la Procédure AQ/GMT/PG/0410-1.0

Page 2 / 2

Les valeurs sont obtenues avec les hypothèses suivantes :

- Utilisation de la procédure Onera AQ/GMT/PG/0410-1.0 - CALCUL DU COUPLE DE SERRAGE DES VIS
- La valeur de force maximale applicable à la vis indiquée dans le tableau assure le non-décollement de l'assemblage et une contrainte dans la vis <80% Re
- Vis M1.6 à M14 : Les vis utilisées sont neuves, soit un assemblage légèrement huilé (f = 0,15 - Normal)
- Vis M16 à M42 : Les vis utilisées sont neuves, soit un assemblage graissé (f = 0,10 - Italique)
- L'outil de serrage utilisé a une précision ≤+/-10%
- On considère que la longueur filetée de l'assemblage respecte Lf ≥1xØvis pour l'acier ou Lf ≥1,5xØvis pour l'aluminium
- Les couples des vis sans tête sont basés sur l'expérience

Légèrement huilé (f = 0,15)

	Vis au pas normal tête bombée (ISO 7380)						Vis au pas normal ajustée / épaulée (ISO 7379)						
Classe de vis / Ø	F = Force max applicable à la vis (N)			C = Couple de serrage (N.m)			F = Force max applicable à la vis (N)			C = Couple de serrage (N.m)			Classe de vis / Ø
	Classe 8.8	Classe 10.9	Classe 12.9	Classe 8.8	Classe 10.9	Classe 12.9	Classe 8.8	Classe 10.9	Classe 12.9	Classe 8.8	Classe 10.9	Classe 12.9	
M 1,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	M 1,6
M 2	399	562	674	0,20	0,28	0,34	-	-	-	-	-	-	M 2
M 2,5	666	936	1 123	0,40	0,56	0,68	-	-	-	-	-	-	M 2,5
M 3	1 000	1 406	1 687	0,74	1,05	1,26	-	-	-	-	-	-	M 3
M 4	1 731	2 434	2 921	1,71	2,41	2,89	-	-	-	-	-	-	M 4
M 5	2 834	3 986	4 783	3,45	4,86	5,83	2 834	3 986	4 783	3,41	4,79	5,75	M 5
M 6	3 998	5 622	6 747	5,70	8,02	9,62	3 998	5 622	6 747	5,95	8,37	10,04	M 6
M 8	7 340	10 322	12 386	13,91	19,55	23,47	7 340	10 322	12 386	14,09	19,81	23,78	M 8
M 10	11 689	16 438	19 726	27,48	38,64	46,37	11 689	16 438	19 726	27,96	39,32	47,19	M 10
M 12	17 046	23 971	28 765	48,13	67,68	81,22	17 046	23 971	28 765	50,26	70,68	84,81	M 12
M 14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	M 14
M 16	32 237	45 334	54 401	119,24	167,68	201,22	32 237	45 334	54 401	121,93	171,46	205,75	M 16
M 18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	M 18
M 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	M 20
M 22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	M 22
M 24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	M 24
M 27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	M 27
M 30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	M 30
M 33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	M 33
M 36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	M 36
M 39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	M 39
M 42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	M 42

Légèrement huilé (f = 0,15)

	Vis au pas normal tête conique FHC à 90° (ISO 10642)					
Classe de vis / Ø	F = Force max applicable à la vis (N)			C = Couple de serrage (N.m)		
	Classe 8.8	Classe 10.9	Classe 12.9	Classe 8.8	Classe 10.9	Classe 12.9
M 1,6	240	338	405	0,12	0,17	0,21
M 2	399	562	674	0,25	0,35	0,42
M 2,5	666	936	1 123	0,52	0,73	0,87
M 3	1 000	1 406	1 687	0,86	1,21	1,45
M 4	1 731	2 434	2 921	2,11	2,96	3,55
M 5	2 834	3 986	4 783	4,07	5,73	6,87
M 6	3 998	5 622	6 747	7,00	9,85	11,82
M 8	7 340	10 322	12 386	17,48	24,58	29,49
M 10	11 689	16 438	19 726	33,53	47,16	56,59
M 12	17 046	23 971	28 765	57,92	84,45	97,74
M 14	23 410	32 921	39 505	94,42	132,78	159,33
M 16	32 237	45 334	54 401	144,83	203,67	244,41
M 18	39 161	55 070	66 084	201,93	283,96	340,76
M 20	50 371	70 834	85 001	209,30	408,23	489,88
M 22	-	-	-	-	-	-
M 24	-	-	-	-	-	-
M 27	-	-	-	-	-	-
M 30	-	-	-	-	-	-
M 33	-	-	-	-	-	-
M 36	-	-	-	-	-	-
M 39	-	-	-	-	-	-
M 42	-	-	-	-	-	-

L'utilisation de têtes TORX est fortement recommandée pour cette plage de vis pour éviter d'endommager la tête de vis

Propriété de l'ONERA - Reproduction, communication, utilisation
même partielles interdites sans accord écrit préalable

Seuls l'original et la version électronique font foi. Ne pas imprimer, sauf pour usage temporaire.

ANNEXE C - *EQUIPEMENT SOUS PRESSION*

Un équipement sous pression doit être défini a minima par :

- sa nature : récipient, tuyauterie ou accessoire de sécurité
- le type de fluide (gaz, liquide, vapeur en phase pure) : groupe 1 (explosifs, inflammable, toxique, comburant) ou groupe 2 (autres fluides)
- la pression maximale admissible (PS) : pression maximale pour laquelle l'équipement est conçu. Elle est spécifiée par le fabricant et indiquée sur l'équipement à un emplacement spécifié par ce dernier, à savoir soit l'emplacement où sont connectés les organes de protection ou de sûreté, soit la partie supérieure de l'équipement ou, si cela n'est pas approprié, tout autre emplacement spécifié
- la température minimale/maximale admissible (TS) : températures minimale et maximale pour lesquelles l'équipement est conçu, spécifiées par le fabricant
- le volume pour un récipient (V) : volume interne de chaque compartiment, y compris le volume des raccordements jusqu'à la première connexion ou soudure et à l'exclusion du volume des éléments internes permanents
- la dimension nominale pour une tuyauterie (DN) : désignation numérique de la dimension commune à tous les éléments d'un système de tuyauteries autres que les éléments indiqués par leur diamètre extérieur ou par la taille du filet; il s'agit d'un nombre arrondi à des fins de référence et qui n'a pas de relation stricte avec les cotes de fabrication; la taille nominale est indiquée par DN suivi d'un nombre

D'autres informations peuvent être indiquées :

- la pression de calcul (qui est à minima la PS)
- la température de calcul

La pression maximale d'utilisation est une pression, inférieure à PS, qui permet la prise en compte de la précision des organes de sécurité (soupape, pressostat, …). Typiquement PS - x bar, à définir avec le responsable d'essai et/ou d'installation.

Propriété de l'ONERA - Reproduction, communication, utilisation
même partielles interdites sans accord écrit préalable