

MATH0001 : COMMUNICATION GRAPHIQUE

Université de Liège - Faculté des sciences appliquées

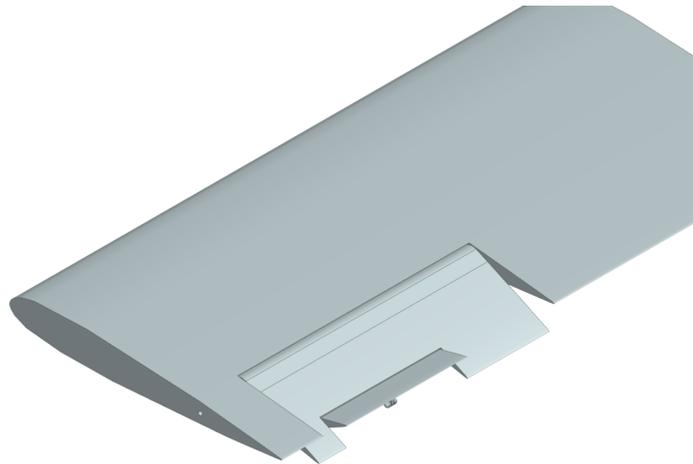
Professeur : Éric Béchet

Assistants : Alex Boly

Benjamin Moreno

Séance 9 : Compléments pour NX

Trim d'aileron



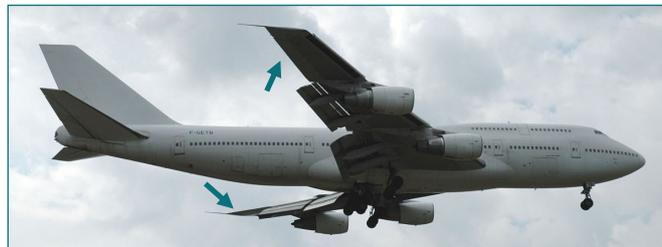
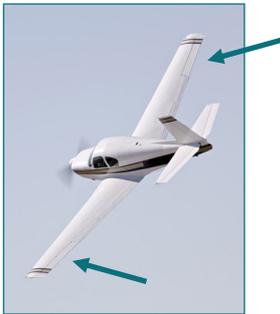
Objectifs

Cette séance est principalement un exercice récapitulatif. Voici cependant les points nouveaux abordés lors de la séance. En fin de séance, vérifiez que vous connaissez ou que vous savez faire les éléments de cette liste.

- Importer des points d'un fichier extérieur.
- Autres contraintes d'assemblage et cinématique.
- Analyse de résultat dans NX et exportation des données.

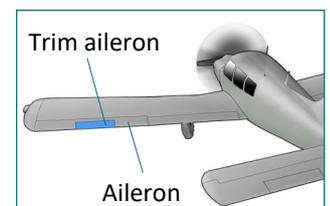
1. Introduction

Les avions font appel à différents mécanismes de contrôle pour pouvoir se diriger dans l'air. Ces mécanismes sont déterminés à partir des lois aérodynamiques, ce qui explique leurs positions et leurs systèmes particuliers. Parmi ceux-ci figurent les ailerons : se trouvant en bout d'aile, ils servent principalement à faire tourner l'avion.



Certains avions, principalement les gros porteurs (comme le Boeing 747 présenté ci-dessus à droite), ont un système pour régler le comportement des ailerons appelé "trim d'aileron". Ceci permet notamment d'équilibrer l'avion si celui-ci a tendance à tourner tout seul dû, par exemple, à une mauvaise répartition du poids qu'il transporte.

Durant cette séance, nous allons réaliser une aile d'un petit avion comportant un trim d'aileron et simuler son comportement.



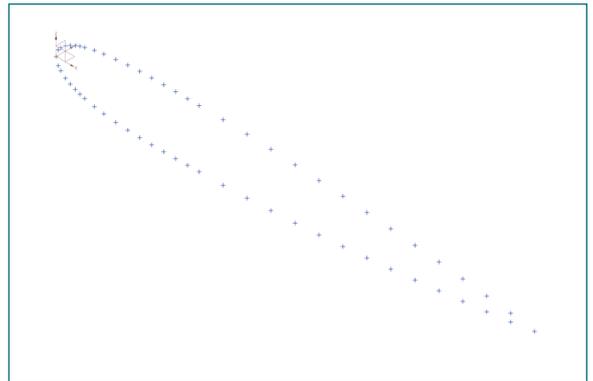
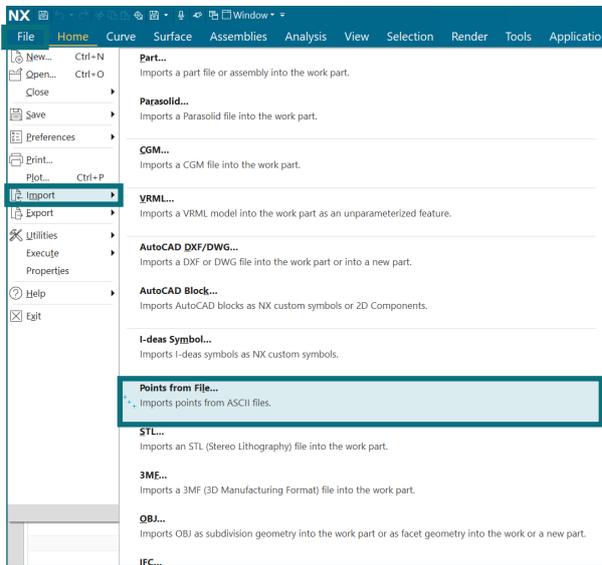
2. Tracer l'aile à partir d'un profilé

Pour réaliser l'aile de l'avion, nous avons besoin de la forme de celle-ci, ce que l'on appelle un "profilé d'aile". Ces formes particulières sont issues de recherches scientifiques et la majorité d'entre elles est détaillée par la NASA en libre accès (la NASA étant elle-même responsable de la plupart de ces formes).

Pour notre avion, il s'agit d'un profilé NACA0012^a dont la forme vous est donnée par une liste de points disponible dans le fichier "NACA0012.txt". Nous allons donc importer ces points dans NX, les relier pour reformer le profilé puis l'extruder.

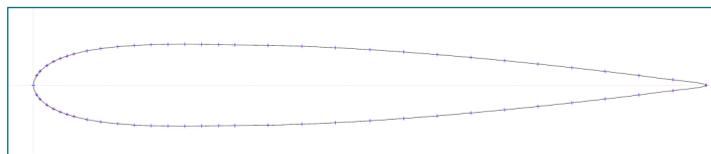
Avant de créer votre première esquisse, ouvrez la fenêtre pour charger les points en allant dans *File* → *Import*, puis cliquez sur *Points from File...* (voir image page suivante). Une fenêtre s'ouvre permettant de sélectionner le fichier contenant les points. Choisissez le fichier "NACA0012.txt" et vous verrez les points placés en bleu foncé dans la fenêtre graphique.

a - Pour votre information : https://fr.wikipedia.org/wiki/Profil_NACA



Afin de relier ces points pour former le profilé, créez une esquisse dans le plan contenant ces points (tous les points sont à $z=0$). Ensuite, incluez ces points dans l'esquisse (vous pouvez tous les sélectionner en une fois).

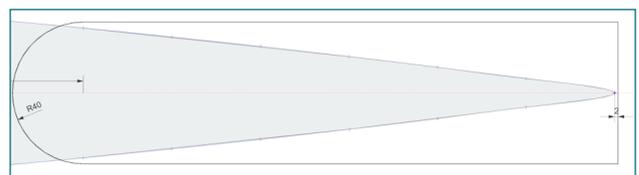
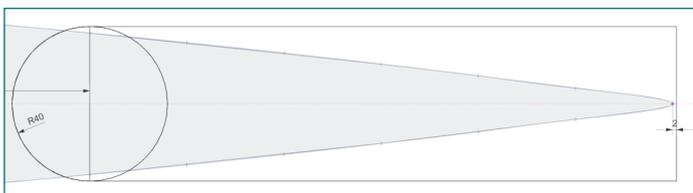
Ensuite, appelez la fonction *Spline* en mode *Through Points* pour relier les points. Avant de commencer, vérifiez que l'option "*Closed*" est active et que le degré de la courbe est fixé à 3. Sélectionnez d'abord le point à l'extrémité pointue (le point le plus loin de l'origine), puis sélectionnez les points les uns après les autres afin de construire le profilé au fur et à mesure. Attention, l'origine doit également être prise en compte dans la forme du profilé.



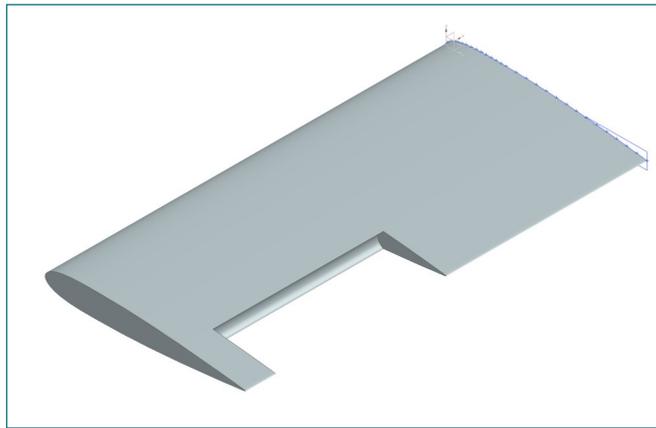
Extrudez cette courbe sur 2 m afin d'avoir l'aile de l'avion.

Il reste à "découper" dedans la place qui sera prise par l'aileron. Créez une nouvelle esquisse sur le même plan que l'esquisse précédente et placez-y un cercle de rayon de 40 mm sur l'axe horizontal à 70 cm de l'origine. Le centre du cercle sera l'axe de rotation de notre aileron.

Ensuite, tracez un rectangle comme représenté ci-dessous afin de bien englober tout le profilé. Appelez alors la fonction *Trim* et sélectionnez les traits à l'intérieur de la surface pour les supprimer.



Extrudez ensuite cette courbe afin de "retirer de la matière" entre 1 m depuis l'origine et 15 cm depuis l'extrémité. Pour le faire de manière paramétrique, vous pouvez utiliser l'option *Offset from selected* en sélectionnant la surface à l'extrémité de l'aile pour les 15 cm (il est possible que selon le sens pris par NX, vous deviez indiquer -150 mm mais dans ce cas, il serait plus logique d'inverser le sens d'extrusion). Vous devez alors obtenir le résultat présenté en page suivante.

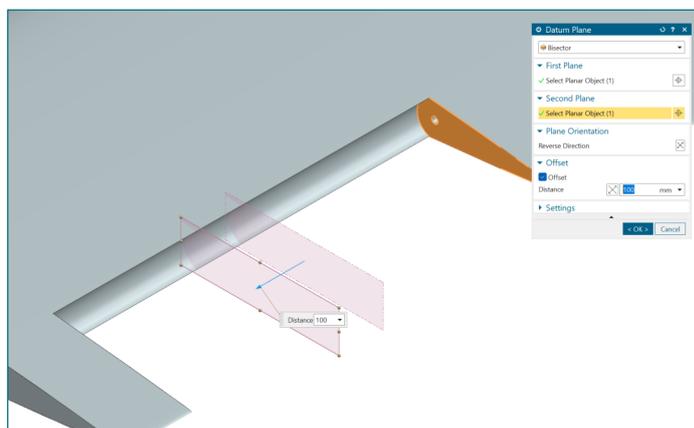


3. Finaliser l'aile

Nous allons maintenant réaliser un trou le long de l'aile qui nous servira plus tard à visualiser l'axe de l'aileron. Créez une esquisse, toujours dans le même plan que les autres, et incluez le centre du cercle créé précédemment. Ensuite, placez-y un cercle de diamètre de 15 mm. Extrudez ce cercle afin de soustraire sur toute l'aile (utilisez l'option *Through All*).

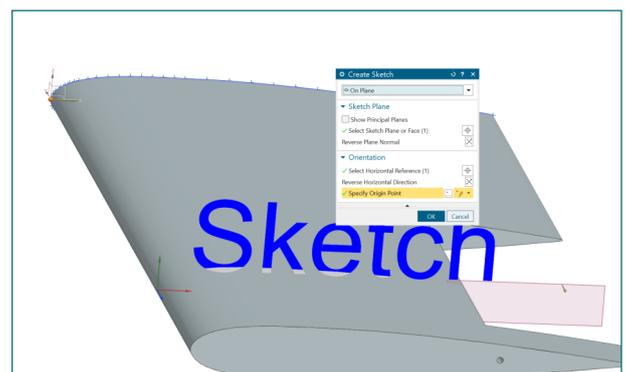
Pour représenter le mécanisme de trim, nous placerons sous l'aile une attache. Pour la dessiner, nous devons placer un nouveau plan qui servira de référence.

Utilisez alors la fonction *Datum Plane* avec l'option *Bisector* : cette option permet de créer un plan au milieu de deux autres. Sélectionnez ensuite pour *First Plane* et *Second Plane* les plans de l'aile issus de la découpe pour l'aileron afin de placer le plan au milieu. Ensuite, avant de valider, imposez dans le champ *Offset* (cliquez sur la flèche en bas pour agrandir la fenêtre si vous ne le voyez pas) une valeur de 10 cm vers l'extérieur de l'aile (comme présenté ci-dessous).

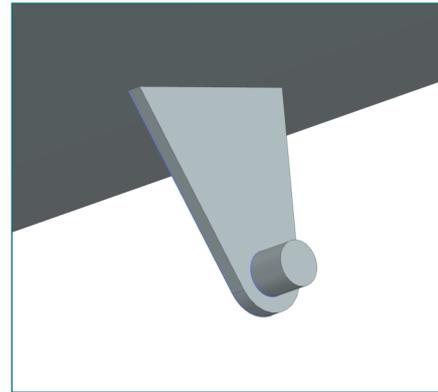
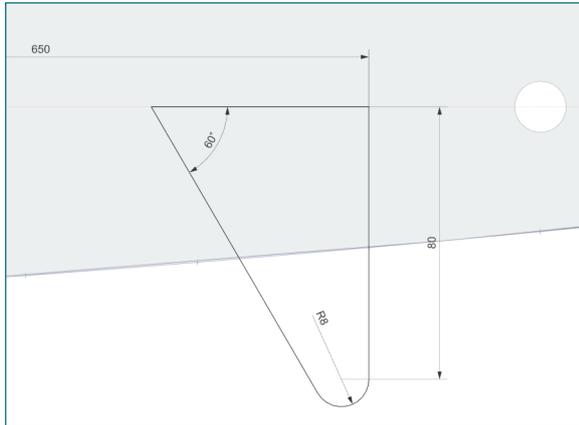


Créez une esquisse sur le plan que vous venez de créer et comme origine de l'esquisse, utilisez la projection de l'origine du sketch de l'aile.

Pour déterminer l'origine du sketch, dans la fenêtre *Create Sketch*, cliquez sur le champ *Specify Origin Point* puis sélectionnez l'origine. NX devrait alors déplacer le référentiel proposé comme sur l'image ci-contre.



Une fois l'esquisse créée, dessinez la surface présentée ci-dessous à gauche en prenant en compte que la cote de 65 cm est bien prise par rapport à l'origine (sur l'axe horizontal). Extrudez-la ensuite sur 3,5 mm.



Créez maintenant une esquisse sur la nouvelle surface générée par ce volume créé à l'instant (donc pas sur le même plan que l'esquisse précédente) et placez-y un cercle de diamètre de 9,5 mm centré sur le même point que l'arrondi du volume. Extrudez ensuite pour obtenir un cylindre de hauteur de 9 mm. Vous obtenez alors le résultat présenté ci-dessus à droite.

Placez ensuite une sphère de diamètre de 12 mm au centre du cercle de la surface extérieure du cylindre. Pour ce faire, utilisez la fonction *Sphere* et sélectionnez le centre directement avec l'outil de sélection adapté.

Terminez ensuite cette attache en faisant un miroir des volumes créés avec le plan utilisé à la base : appelez la fonction *Mirror Feature*, sélectionnez les volumes créés (le plat, le cylindre et la sphère) dans le *Part Navigator* puis prenez le plan créé plus tôt comme plan de symétrie.

Astuce PC : dans une liste, faites Ctrl + clic pour pouvoir sélectionner séparément des éléments.

Avant de terminer, unissez les volumes qui ne l'auraient pas été durant la conception de la pièce.

4. Réalisation de l'assemblage

Maintenant que l'aile est terminée, nous pouvons réaliser l'assemblage afin de simuler le mouvement. Les autres pièces de l'assemblage étant fournies au format STEP, il faut d'abord créer un fichier *Part* à partir de celles-ci avant de les inclure dans l'assemblage (seuls des fichiers *prt* peuvent être ajoutés dans un assemblage).

4.1. Format STEP

NX n'est évidemment pas le seul logiciel de CAO, il existe bien d'autres logiciels dont notamment les plus connus sont SolidWorks, CATIA, AutoCAD 3D ou encore FreeCAD. Chacun d'entre eux ont leur propre format de fichier (NX travaille sur des *prt*, SolidWorks sur des *sldprt*, CATIA sur des *catpart*, etc.) et leur propre fonctionnement, ce qui rend le transfert d'un modèle CAO de l'un à l'autre problématique.

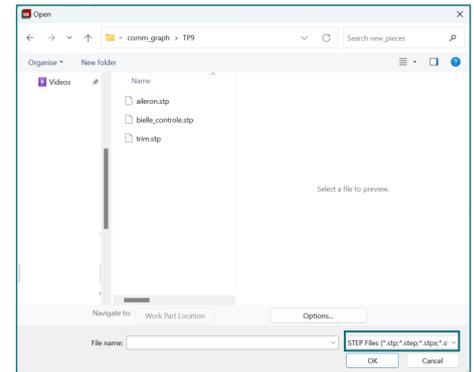
Heureusement, il existe un format normalisé (norme ISO) qui permet de décrire la géométrie d'une pièce (modèle) afin d'être compréhensible pour tous. Celui-ci est appelé STEP qui est l'acronyme de "Standard for the Exchange of Product model data" (ces fichiers ont donc l'extension ".stp").

Il faut cependant garder à l'esprit que ce format de fichier garde la géométrie et non la construction de la pièce. Cela signifie qu'une fois qu'une pièce est convertie en STEP il n'est plus possible d'accéder à sa

construction. Communément, on appelle cela "une pièce morte" car, bien que l'on ait la géométrie, il n'est plus possible de la modifier (on peut faire le parallèle entre les fichiers step et les fichiers pdf).

Vu l'intérêt pour les fichiers STEP, NX peut lire des fichiers STEP comme il peut en créer à partir d'un modèle.

Pour lire un fichier STEP dans NX, il faut ouvrir le fichier depuis NX : allez dans *File* puis *Open* et ensuite, dans la fenêtre s'ouvrant, sélectionnez le fichier step que vous souhaitez convertir. Si les fichiers step n'apparaissent pas, c'est que le filtre de type de fichier est activé. Celui-ci est la liste déroulante en bas à droite de la fenêtre, cliquez dessus pour sélectionner dedans le format step.



Convertissez alors la pièce "aileron.stp" en l'ouvrant directement. Une fois la pièce convertie par NX, remarquez dans le *Part Navigator* qu'il n'y a effectivement aucune construction, mis à part l'indication "Body".

NX a déjà enregistré la pièce sous le nom "aileron_stp.prt". Fermez la pièce dans NX et allez dans le dossier éditer son nom pour "aileron.prt". Vous verrez dans le dossier que NX a ajouté également un fichier "aileron.log" qui est le compte-rendu de la conversion du fichier.

Convertissez maintenant les autres pièces, à savoir les fichiers "trim.stp" et "bielle_controle.stp", en renommant le fichier *part* obtenu de la même manière qu'expliqué ci-dessus.

Pour convertir un fichier *part* (prt) vers un fichier *step* (stp) : après avoir ouvert la pièce dans NX, allez dans *File* puis *Export* et sélectionnez *STEP...* . Sélectionnez alors le dossier dans lequel vous souhaitez enregistrer le fichier, donnez-lui un nom et choisissez la norme (pour l'instant, la norme STEP214 est recommandée).

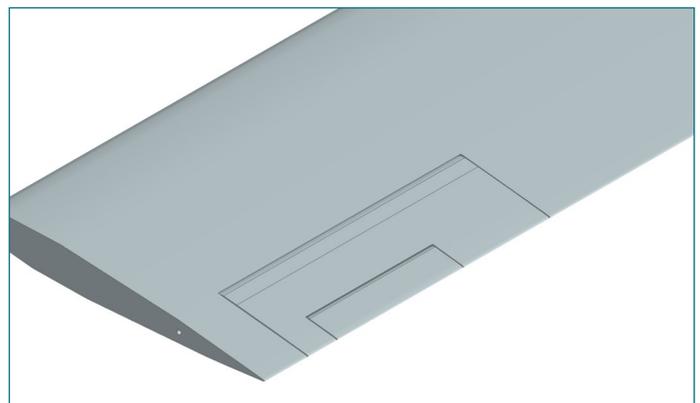
4.2. Assembler

Une fois les trois pièces converties en fichier part, nous pouvons procéder à l'assemblage de l'aile.

Créez un fichier d'assemblage que vous nommerez "aile_assemblage" et placez l'aile que vous avez réalisée plus tôt. Pour avoir plus facile de visualiser l'assemblage et la simulation, n'hésitez pas à naviguer entre les vues pour aligner cette aile sur les axes. N'oubliez pas de la fixer avec la contrainte adéquate.

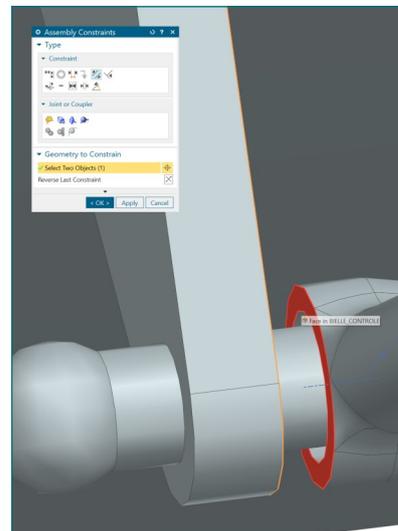
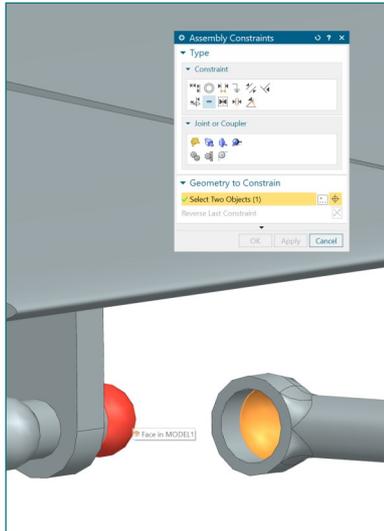
Placez ensuite l'aileron en faisant en sorte que les trous d'axe de l'aile et de l'aileron soient alignés : utilisez la fonction *Align* sur les deux axes. Et pour placer l'aileron au milieu de l'espace qui lui est dédié : utilisez la fonction *Center* avec l'option "2 to 2", sélectionnez les deux surfaces entre lesquelles doit se trouver l'aileron, puis sélectionnez les deux surfaces extérieures de l'aileron.

Placez maintenant le trim en suivant la même logique que celle utilisée pour l'aileron. Vous devez alors obtenir l'assemblage tel que présenté ci-contre.

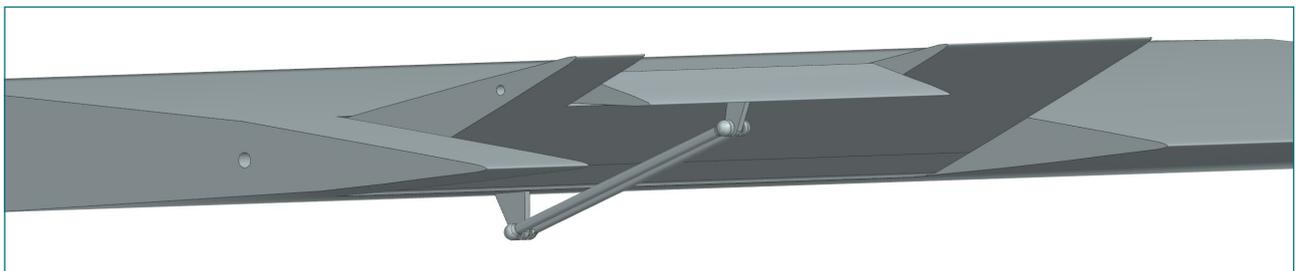


Nous allons maintenant ajouter les bielles pour le contrôle du trim. La partie sphérique des supports de l'aile (ou du trim) doit se fixer dans la partie sphérique des bielles. Cela peut se faire facilement avec la contrainte d'assemblage *Fit*.

Pour chaque bielle, fixer les deux parties sphériques avec *Fit*. *Fit* demande qu'on sélectionne deux surfaces rondes. Sélectionnez alors la sphère et la partie intérieure de la bielle pour les encapsuler. Cette contrainte fait coïncider les centres des deux sphères, mais cela n'empêche pas la bielle de tourner sur son axe. Ajoutez enfin une contrainte parallèle entre la surface à l'entrée de la sphère de la bielle et le plan du support.



L'assemblage est maintenant terminé. Si vous bougez l'aileron (sur une dizaine de degrés), vous remarquerez que le trim reste quasi parallèle à l'aile.



5. Simulation

Créez à partir de l'assemblage une simulation comme il a été vu à la précédente séance et déclarez les corps suivants (5 corps) :

- aile (qui est fixe)
- aileron
- trim
- bielle_1
- bielle_2

Comme vous l'avez très certainement remarqué, les axes n'ont pas été importés dans l'assemblage car ils ne sont en réalité pas nécessaires pour réaliser la simulation. Nous pouvons créer un pivot à partir d'un point d'une pièce sans le matérialiser.

Le premier joint à placer est un joint pivot entre l'aile et l'aileron. Ouvrez alors la fonction *Joint* et sélectionnez l'option *Revolute*. Pour définir l'axe de rotation, nous devons nous baser sur la géométrie.

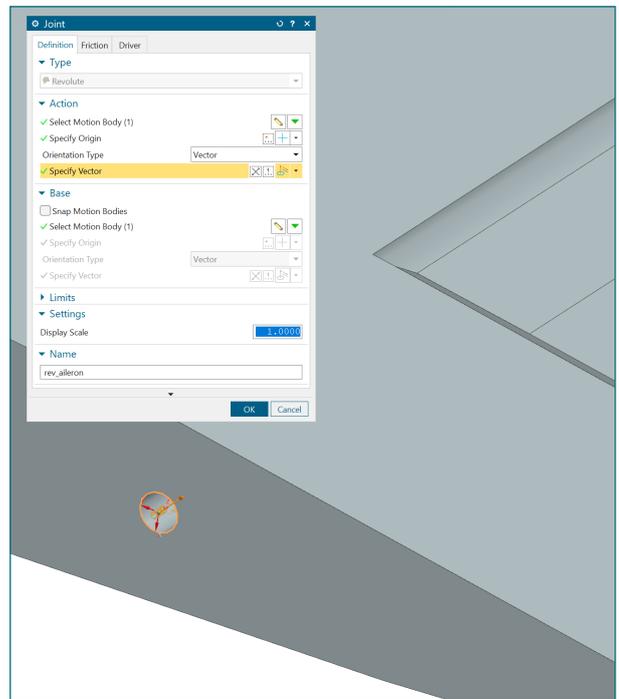
Comme point, sélectionnez (avec l'option *Arc/Ellipse/Sphere center*) le centre du trou dans l'aile qui devrait servir à placer l'axe, puis, pour le vecteur, utilisez l'option *Curve/Axis Vector* et sélectionnez ce même trou. A noter que, peu importe lequel des cercles du trou vous sélectionnez, cela reviendra au même car ils sont tous sur le même axe (donc l'axe du joint calculé par NX sera le même pour tous).

Si nécessaire, vous pouvez cacher un corps en le décochant dans le *Motion Navigator* afin d'avoir plus facile à sélectionner des éléments.

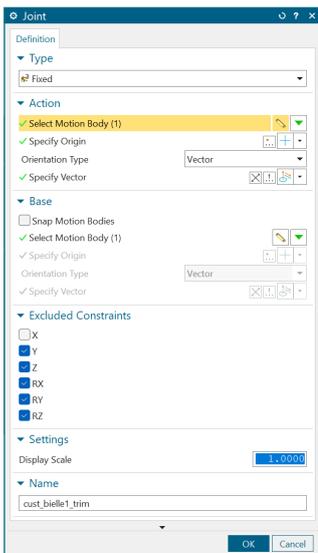
Enfin, avant de valider, terminez la création du joint sans oublier d'indiquer en "Base" l'aile comme corps de référence.

Ensuite, créez selon la même méthode le joint pivot entre le trim et l'aileron.

Réalisez maintenant un joint pivot pour chaque bielle par rapport à l'aile sur l'axe du support. Utilisez également la géométrie de l'aile pour définir l'axe avec la partie cylindrique du support, par exemple.



Jusqu'à présent, vous avez quatre joints, il ne reste donc plus qu'à en créer deux : ceux qui lient les bielles au trim. Pour ces deux joints, nous allons créer des joints "personnalisés", c'est-à-dire qu'ils ne font pas partie de la liste des joints proposés par NX.



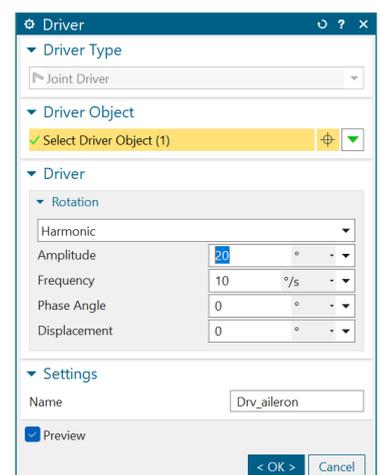
Appelez la fonction *Joint*, puis dans la liste déroulante des joints proposés, sélectionnez "Fixed". Comme pour les autres joints pivot, sélectionnez en "Motion Body" l'une des bielles, ensuite sélectionnez le centre et l'axe de la même manière et finalement le trim comme "Base".

Pour "customiser" notre joint, il y a la section "Excluded Constraints" : il suffit de cocher les mouvements que l'on ne souhaite pas bloquer (X, Y, Z les translation et RX, RY, RZ les rotations, tous selon les axes relatifs définis plus haut). Pour le premier joint que vous créez, cochez-les tous sauf X.

Réalisez ensuite les mêmes opérations pour l'autre bielle, mais cette fois-ci en cochant tout sauf X et Y.

Il ne nous reste plus maintenant qu'à définir le driver avant de paramétrer le solveur pour lancer la simulation. Comme nous voulons simuler le fonctionnement de l'aileron, nous placerons le driver sur le joint pivot entre l'aileron et l'aile.

Imposez alors un mouvement de rotation de forme "Harmonic" (à sélectionner dans la liste déroulante) dont l'amplitude est de 20° et la fréquence de 10°/s. Une fonction harmonique est une fonction sinusoïdale, autrement dit, avec nos paramètres, nous ferons bouger l'aileron entre 20° et -20° avec une période de 36s (360° à 10°/s donne 36s).



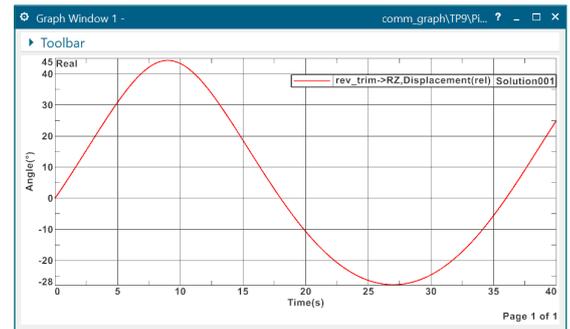
Pour les paramètres du solveur, veuillez d'abord à ce qu'il s'agisse bien d'une simulation cinématique. Pour les pas de la simulation, sélectionnez d'abord l'option *Fixed Print Interval* car nous allons ici spécifier l'intervalle de temps entre chaque pas et non le nombre de pas :

- *Fixed Print Interval* (intervalle de temps entre pas) : 0.1s
- *Solution Start Time* : 0s
- *Solution End Time* : 40s

Vous pouvez ensuite faire *Solve* pour réaliser la simulation et regarder l'animation.

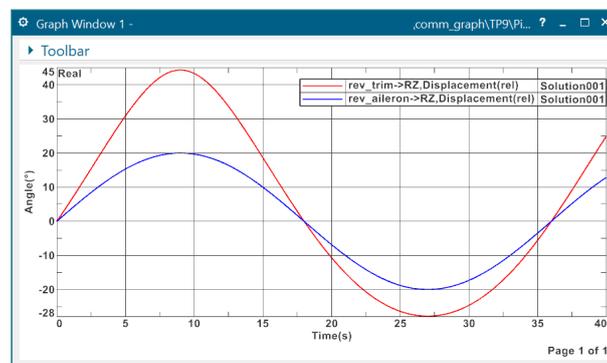
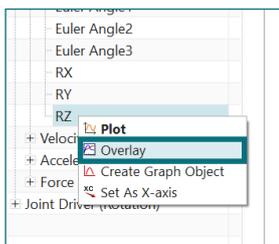
6. Options analyses des résultats

Faites tracer par NX dans une fenêtre à part l'angle relatif du trim en fonction du temps. Cela se fait à partir du joint *Revolute* associé et de la section *XY Result View* (prenez Relative/Displacement/RZ). Vous devez obtenir le graphique ci-contre.

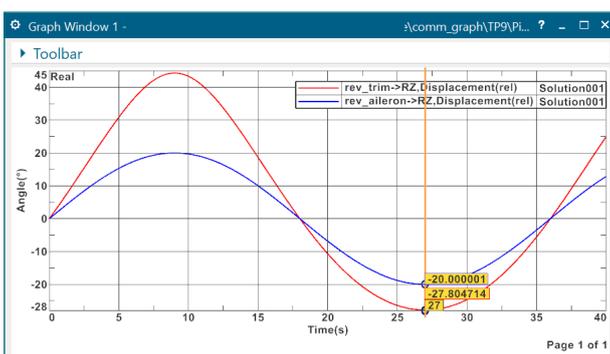


Nous pouvons visuellement comparer notre tracé avec le mouvement de l'aileron (imposé par le driver) en faisant tracer l'angle du joint *Revolute* associé à l'aileron dans le même graphique. Pour ce faire, trouvez le mouvement que vous voulez tracer dans la section *XY Result View* (prenez ici Relative/Displacement/RZ à nouveau mais, bien sur, le joint pivot de l'aileron), faites clic droit dessus puis "Overlay". La courbe du mouvement de rotation de l'aileron s'affiche dans le même graphique que celui du trim mais en bleu.

Remarquez que malgré que le trim tourne à la même fréquence que l'aileron celui n'a pas une amplitude symétrique.



Nous pouvons d'ailleurs mesurer les extrema dans cette fenêtre. Faites clic droit sur une courbe puis cliquez sur *Peak Probing Mode*, NX vous montre dans des petits encadrés les valeurs extrêmes mesurées et indique leur position avec un axe vertical. Pour vous déplacer entre ces extrema, il suffit de maintenir le clic enfoncé sur l'axe ajouté et de le faire glisser dans le graphique.



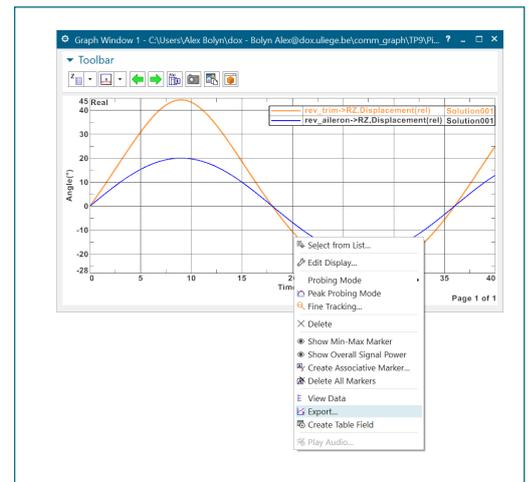
On mesure ainsi que trim bouge entre $-27,8^\circ$ et $44,3^\circ$.

Pour retirer ces mesures, faites clic droit dans le graphe puis *Exit Probing Mode*.

Si nous sommes satisfaits de l'image, nous pouvons demander à NX d'en faire une capture. Pour cela, il faut ouvrir le menu *Toolbar* en cliquant dessus puis de cliquer sur le logo appareil photo. Il ne reste plus qu'à choisir le type de fichier et où l'enregistrez dans la fenêtre qui vient de s'ouvrir.

On peut aussi demander à NX d'exporter les données pour pouvoir les traiter par après avec d'autres logiciels (Excel, script Python, etc.). Dans la fenêtre, faites clic droit sur le graphique qui vous intéresse puis "Export...".

Dans la fenêtre qui s'ouvre, vous pouvez laisser le type de fichier comme CSV, car il est celui qui est le plus commun et le plus facile à utiliser (on peut l'ouvrir via Excel notamment¹). Indiquez où l'enregistrer et son nom via le bouton associé puis validez.



1– Si vous souhaitez lire un fichier CSV sur Excel (pour utiliser les données afin de faire d'autres calculs ou tracer des graphiques), il existe de nombreux tutoriels disponibles sur internet.