

MATH0001 : COMMUNICATION GRAPHIQUE

Université de Liège - Faculté des sciences appliquées

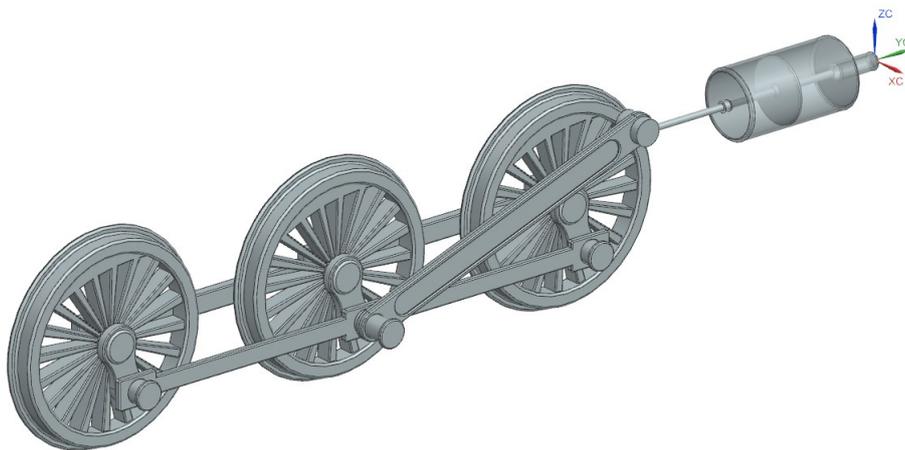
Professeur : Éric Béchet

Assistants : Alex Bolyn

Benjamin Moreno

Séance 8 : Simulation cinématique

Train



Objectifs

Voici les points principaux abordés lors de la séance. En fin de séance, vérifiez que vous connaissez ou que vous savez faire les éléments de cette liste.

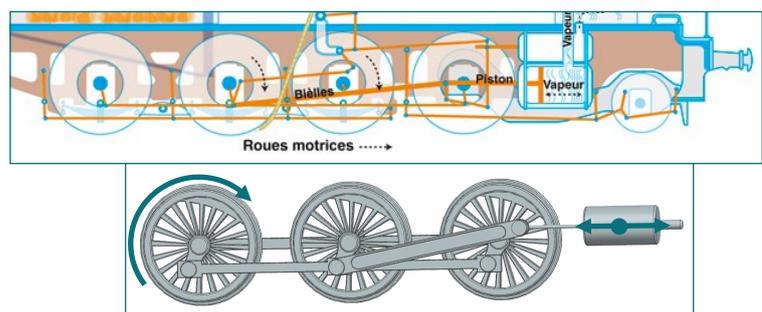
- Comprendre et utiliser l'environnement simulation de NX, en particulier NX Motion.
- Importer un assemblage et y placer des contraintes cinématiques (joint et driver).
- Paramétrer le solveur pour une simulation cinématique.
- Analyse de résultat et exportation de données d'une simulation.

1. Introduction

Lors de la séance précédente, nous avons évoqué le fait que des modèles d'assemblage sont utiles pour réaliser des simulations de mouvement. Dans la conception de mécanismes, il est toujours très intéressant de réaliser une simulation de toutes les pièces modélisées afin de vérifier les mouvements et les positions des pièces au cours du temps.

Le domaine de la simulation est très vaste et chaque type de simulation est très spécifique, demandant une formation au préalable. On peut simuler les efforts dans une pièce soumise à des forces, c'est ce que l'on appelle une "simulation statique"^a, ou simuler le mouvement de pièces sans ou avec implication de forces, appelées respectivement "simulation cinématique" et "simulation dynamique"^b. Cette séance a pour objectif de vous donner un premier aperçu de simulation d'un mécanisme afin que vous compreniez tout l'intérêt des modèles CAO. Notre simulation permettra d'observer le mouvement (la cinématique) et l'encombrement spatial du train assemblé lors du TP précédent. Ce type de simulation peut être utilisé comme un moyen de communication (expliquer le mouvement par une vidéo) dans toutes les disciplines de l'ingénieur, car les résultats sont très parlants.

Pour cette séance, nous allons simuler le mouvement du train de la locomotive. Pour rappel, le principe de fonctionnement est simple : le mouvement de va-et-vient du piston provoqué par la vapeur circulant dans le cylindre entraîne, par l'intermédiaire de bielles (dites d'accouplement), le mouvement de rotation des roues (appelées roues motrices).



2. Créer un fichier simulation

Comme *Drafting* et *Modeling*, il existe l'application *Motion* avec son interface propre qui est dédiée aux simulations de mouvement. Il faut cependant faire attention que, contrairement aux deux autres applications, *Motion* ne fonctionne qu'avec des fichiers *sim* (alors que les autres travaillent sur des *prt*).

Créer un fichier de simulation à partir d'un assemblage, ceci peut se faire de deux méthodes expliquées dans les sous-sections suivantes.

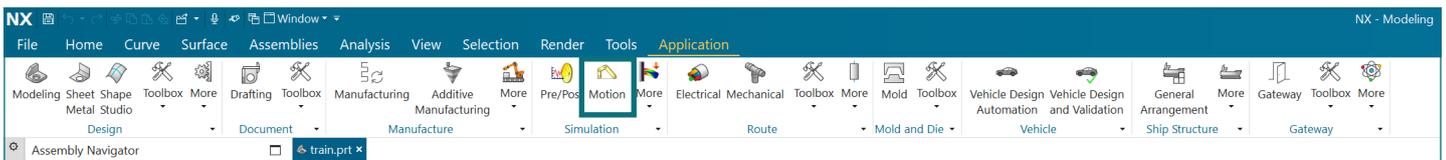
a - Voir cours MECA0036-2 Finite Element Method

b - Voir cours MECA0003-2 Mécanique Rationnelle pour les notions physiques et cours MECA0031-2 Kinematics and dynamics of mechanism pour les simulations.

2.1. A partir de l'assemblage

Si votre assemblage est ouvert sur NX, alors vous pouvez directement ouvrir une nouvelle simulation depuis celui-ci. Il suffit d'aller dans l'onglet *Application*, puis de cliquer sur l'option *Motion*. L'interface *Motion* va ainsi se charger, proposant de nouveaux menus. Pour rappel, l'application en fonction est indiquée tout en haut de la fenêtre au milieu (ici, vous voyez affiché "NX - Motion").

Notez que si vous devez retourner dans l'assemblage, il suffit de retourner dans *Application* et d'appeler *Modeling*. Notez aussi tous les autres outils offerts grâce au modèle CAO (que vous ne verrez pas dans le cadre de ce cours malheureusement) : *Manufacturing* qui permet de simuler ou directement programmer l'usinage d'une pièce, *Additive Manufacturing* pour imprimer la pièce en 3D, *Mold* qui permet de créer et de simuler le moulage de la pièce, etc.



Le menu principal (dans l'onglet *Home*) est grisé sauf pour un seul bouton : *New Simulation*. C'est normal, NX n'a pas trouvé de fichier *sim* lié à l'assemblage puisque nous ne l'avons pas encore créé.

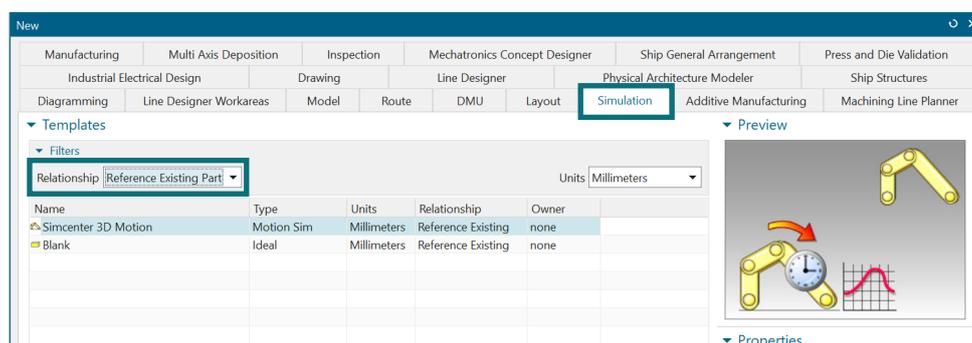
Cliquez sur *New Simulation* et une fenêtre s'ouvrira alors vous demandant le nom de votre simulation, ainsi que l'emplacement de sauvegarde. Par défaut, cet emplacement sera le même que celui de votre assemblage et c'est ce qu'il faut ! Voir la remarque sur les assemblages à la séance précédente : NX retient les chemins, pas la composition. Avoir tous les fichiers avec leurs noms définitifs dans un même dossier réduit les risques d'erreur. Si ce n'est pas à cet emplacement que le logiciel vous propose de sauvegarder, changez-le manuellement.

Une fois que vous avez validé le nom et le dossier avec *OK*, NX vous demande directement les premiers paramètres pour préparer la simulation (fenêtre *Environment*). Veuillez vous référer à la section 3 de ce document pour la suite.

2.2. Sans partir de l'assemblage

Si votre assemblage n'est pas ouvert, la méthode est différente, car il faut notamment dire à NX où se trouve l'assemblage. Ici, nous allons créer d'abord le fichier *sim* avant d'aller dans *Motion* (l'inverse donc de la méthode en 2.1).

Cliquez sur *New* pour créer un nouveau fichier. Allez dans l'onglet "*Simulation*" et, avant de sélectionner le type de fichier, prenez dans la liste déroulante "*Relationship*" le paramètre "*Reference Existing Part*" (cette partie est similaire à la création d'un plan). Parmi les deux types proposés, prenez celui nommé "*Simcenter 3D Motion*".



Dans la partie "*Part to Reference*", il faut donner le fichier assemblage à utiliser pour la simulation. Le bouton présent fera ouvrir une fenêtre vous présentant les pièces déjà chargées dans NX. Si votre assemblage n'y est pas, vous pouvez le charger en ouvrant le navigateur de dossier avec *Open*. Une fois toutes les pièces chargées sur NX, vérifiez que c'est bien le fichier "train.prt" qui est sélectionné, puis validez.

Dans la fenêtre de création de fichier se trouve aussi le champ "*Folder*", vérifiez bien qu'il s'agit du même dossier que celui de "train_complet.prt" afin que les fichiers soient dans le même dossier. Toujours par rapport à la remarque sur les assemblages : NX retient les chemins, pas la composition. Avoir tous les fichiers avec leurs noms définitifs dans un même dossier réduit le risque de problèmes.

3. Environnement de simulation

A l'ouverture du fichier *sim* pour la première fois, NX doit savoir l'environnement dans lequel vous souhaitez travailler. En effet, en fonction de la simulation que vous souhaitez réaliser, NX ne travaillera pas de la même manière.

- *Solver Option* : ceci permet de choisir le type de solveur à utiliser pour résoudre la simulation. Prenons celui par défaut, à savoir "*Simcenter 3D Motion*".
- *Component Options* : il s'agit d'une aide à la création de corps rigide. Nous n'en avons pas besoin, laissez-la décochée.
- *Joint Wizard* : ce dernier a pour but de traduire les contraintes d'un assemblage directement en relations pour la simulation. Veuillez le désactiver. En effet, bien que cela semble utile, NX ne comprend pas toujours de la même manière que nous les relations imposées et il y a un risque qu'il place de mauvaises relations.

Une fois ces paramètres validés, nous pouvons enfin commencer à programmer notre simulation.

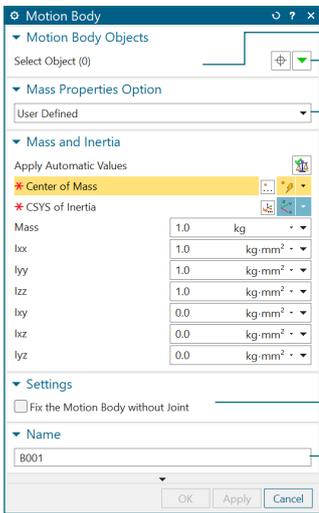
4. Motion Navigator

A l'instar du *Part Navigator* et du *Assembly Navigator* présentés lors des séances précédentes, il existe un *Motion Navigator* pour vous aider en listant tous les paramètres de la simulation. Normalement, il s'ouvre directement à l'ouverture de *Motion*, mais, tout comme les autres navigateurs, il est disponible parmi les onglets de gauche. Le *Motion Navigator* est très utile pour s'y retrouver parmi tous les paramètres de la simulation.

5. Ajouter un corps (*Motion Body*)

Pour l'instant, NX a importé votre assemblage, mais il ne sait pas quels sont les objets (corps) qui seront en mouvement. La première phase dans une simulation revient donc à dire à NX quels sont ces corps et cela se fait via la fonction *Motion Body* dans le menu principal. Cette fonction dit, en quelque sorte, à NX quelles sont les pièces à prendre en compte dans ses calculs. Une pièce qui n'est pas déclarée en tant que corps (*motion body*) n'est pas considérée par NX dans la simulation.

Une petite subtilité cependant est qu'un corps n'est pas forcément lié qu'à une seule pièce. Il est en effet possible de demander à NX de considérer un ensemble de pièces comme un seul corps. Dans ce cas, les pièces n'ont pas de mouvement l'une par rapport à l'autre, elles sont en fait considérées mathématiquement comme ne formant qu'une seule pièce.



Sélectionnez la pièce/les pièces concernée(s).

Liste déroulante pour voir la liste des pièces sélectionnées

Choix de la méthode pour déterminer les paramètres de la pièce (masse et inerties qui sont affichées dans la section en dessous). Pour une simulation cinématique, cela n'a pas d'importance, veuillez donc laisser cette option sur "Automatic".

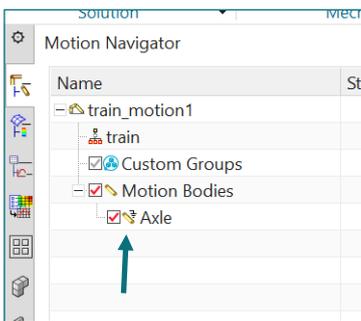
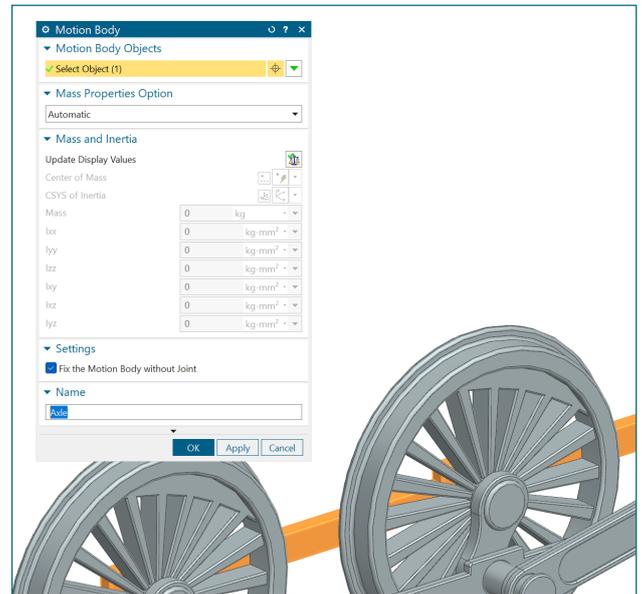
Si cochée, cette option force directement la pièce à être fixe.

Donnez ici le nom du corps.

5.1. Pièces fixes

Il est toujours plus simple et plus cohérent de commencer, comme pour les assemblages, par les pièces de référence qui sont fixes. Pour notre train, commençons par la pièce "Axe" qui, rappelez vous, est fixe dans l'assemblage. Pour créer un corps tout en le déclarant fixe directement, il suffit de cocher l'option concernée (voir image ci-contre).

Donnez-lui un nom clair afin de comprendre facilement dans le *Motion Navigator* de quel corps il s'agit. Ici, comme le corps est la pièce "Axe" seule, nous pouvons le nommer de la même manière.

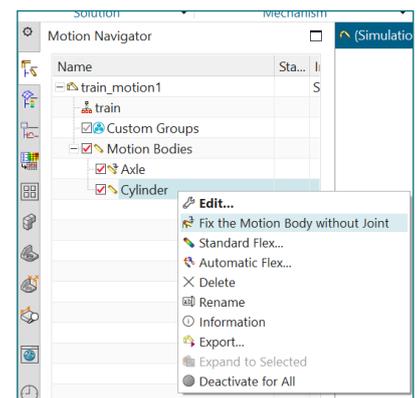


En effet, remarquez bien que dans le *Motion Navigator* un groupe "Motion Bodies" vient d'apparaître avec à l'intérieur le corps "Axe" que vous venez de créer. C'est dans le groupe que sont tous les corps utilisés par la simulation.

Notez aussi qu'il y a le symbole fixe qui est représenté pour "Axe", signe que NX le considère bien comme fixe.

Refaites maintenant un nouveau *Motion Body* avec la pièce "Cylinder", mais veuillez à ce que l'option "Fix the Motion Body without Joint" ne soit pas sélectionnée. Nommez cette pièce "Cylinder". Vous pouvez voir qu'elle apparaît à son tour dans le *Motion Navigator* mais sans le symbole fixe.

Faites donc un clic droit sur son emplacement dans ce navigateur et sélectionnez l'option *Fix the Motion Body without Joint*. Cela aura le même effet que d'avoir laissé cette option cochée lors de sa définition. Il est également possible de "défixer" une pièce suivant le même processus.

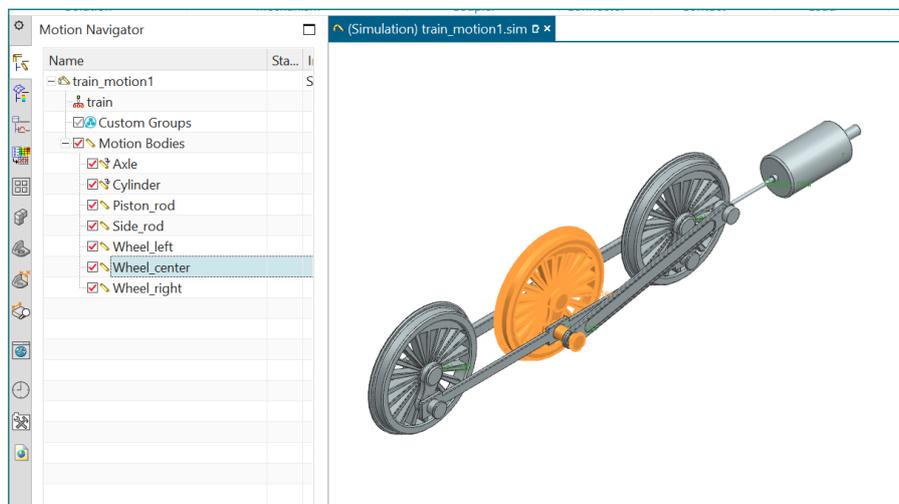


5.2. Autres pièces

Ajoutons maintenant les autres corps qui, eux, ne sont pas fixes :

- "piston_rod" dont la partie piston à l'intérieur du cylindre fait partie,
- "side_rod" qui "distribue" le mouvement entre les trois roues.

Pour chaque roue ("wheel") et leur lien respectif avec "main_rod" ("link" ou "main_link"), nous ne créerons qu'un seul corps, car ces pièces sont solidaires. Cette méthode permet de simplifier la simulation : on passe de 6 à 3 corps. C'est plus simple à visualiser et à comprendre la simulation et cela demande moins de calcul à NX. Ainsi, pour chacune des roues, créez un motion body comprenant la roue et son lien, et nommez-les avec leurs positions pour les distinguer ("wheel_left", etc.). Notez que vous pouvez accéder au *Assembly Navigator* via les onglets de gauche pour vous aider si vous ne trouvez plus une pièce ou ne savez plus son nom (par exemple).

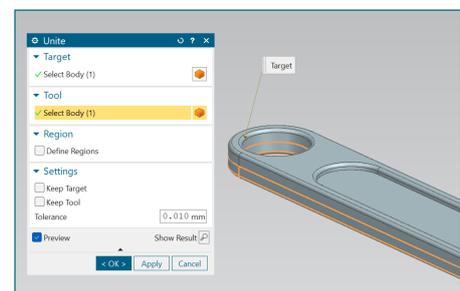
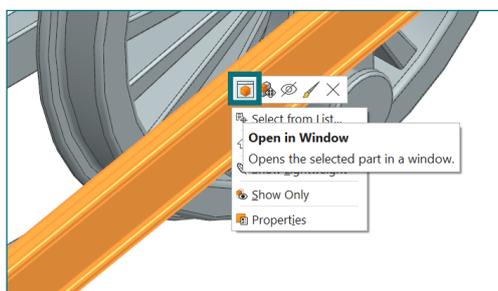


5.3. Corriger une pièce

Il reste à ajouter le corps "main_rod" qui contiendra la pièce homonyme. Cependant, vous remarquerez qu'il ne permet de sélectionner qu'une moitié de la pièce lorsque l'on veut sélectionner la pièce. Regardons alors cette pièce de plus près pour mieux comprendre : faites clic droit sur cette pièce (fermez au préalable les autres fenêtres) puis *Open in Window* pour ouvrir la pièce dans un nouvel onglet NX (voir image ci-dessous).

L'erreur se situe au niveau de la dernière opération : après avoir effectué une symétrie pour terminer la pièce ("Mirror Geometry (6)"), il n'y a pas eu d'opération *Unite*. Il s'agit donc bien pour NX de deux corps séparés, d'où le fait qu'il distingue en mode simulation les deux moitiés.

Unissez alors les deux parties, sauvegardez la pièce, puis revenez dans l'onglet de votre simulation en fermant celui de la pièce. Vous verrez que la pièce a bien été modifiée (voir remarque sur les liens dans l'exercice sur les assemblages : si vous modifiez un fichier, cela se répercute sur les autres fichiers l'utilisant).

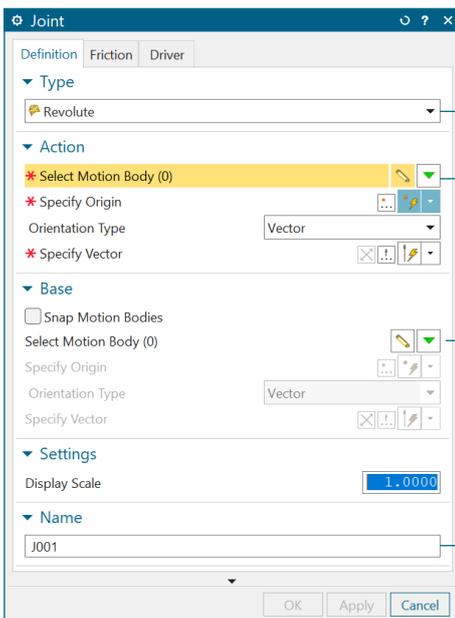


Vous pouvez maintenant créer le corps (entier) à partir de cette pièce avec Motion Body comme pour les autres pièces. Vous obtenez donc au total 8 corps dont 2 fixes.

6. Ajouter des contraintes cinématiques (*Joint*)

Maintenant que nous avons défini les corps, donc les pièces qui peuvent bouger, il faut maintenant définir les liaisons entre elles. Ces liaisons sont appelées "joints", "joints cinématiques" ou encore "contraintes cinématiques" puisqu'elles lient ou forcent le mouvement d'une pièce par rapport à une autre ou par rapport au référentiel absolu. Ce sont en réalité des éléments mathématiques qui lient les pièces pour la simulation et représentent donc des types de relations idéalisées.

Ainsi, dans cette étape, nous allons créer les liaisons entre les pièces grâce à la fonction *Joint* disponible à côté de celle *Motion Body*.



Sélectionnez dans la liste le type de joint à créer. La section "Action" en dessous s'adapte en fonction pour obtenir les informations nécessaires.

Sélectionnez le(s) corps qui est concerné (sont concernés) par le joint.

Si le joint est défini par rapport à un autre corps (à d'autres corps), sélectionnez le(s) corps qui est concerné (sont concernés).

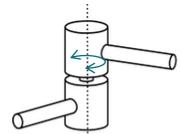
Donnez ici le nom du joint.

De la même manière qu'il existe en assemblage plusieurs types de contraintes, il existe ici aussi plusieurs types de joint. Voici ceux des plus courants (ils font partie des joints de base).



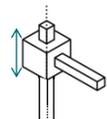
Revolute

Appelée en français "pivot", cette liaison a un comportement similaire : les pièces ne peuvent pas se déplacer l'une par rapport à l'autre, mais une rotation est possible selon un axe choisi (exemple : charnière de porte).



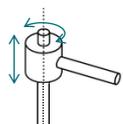
Slider

Appelée "joint prismatique" également, celui-ci bloque toutes les rotations possibles, mais n'autorise la translation que sur un seul axe choisi.



Cylindrical

Ce type de joint est lié à un axe spécifique autour duquel la pièce est libre de tourner et selon lequel la pièce est libre de se déplacer.



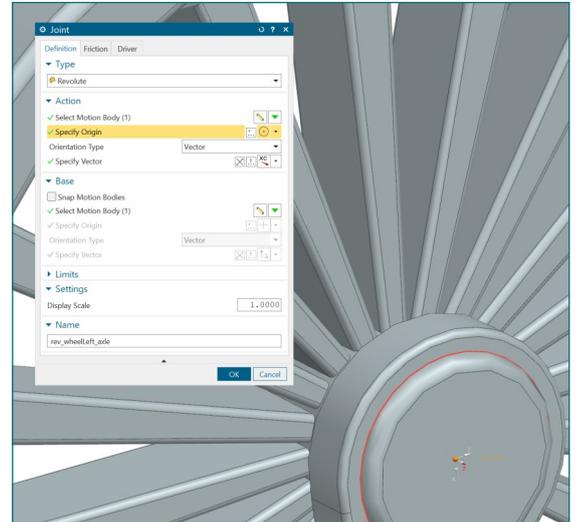
Fixed

Pour fixer une pièce soit par rapport au système de coordonnées (équivalent à *Fix the Motion Body without Joint*), soit par rapport à une autre pièce (comme si elles étaient collées entre elles).

Le premier joint que nous allons placer est celui entre les roues et "axle". Les roues étant fixes en translation par rapport à la pièce "axle" mais libre en rotation sur un axe, le joint correspondant est le pivot appelé "revolute joint" dans NX.

Sélectionnez d'abord dans la liste déroulante le joint correspondant, à savoir "Revolute". Puis complétez le minimum d'informations demandé dans la section "Action" :

1. "Select Motion Body" : sélectionnez le corps concerné, à savoir "wheel_left"
2. "Specify Origin" : il faut donner un point de référence où passe l'axe de rotation. Il est probable que le logiciel vous sélectionne automatiquement le centre de gravité comme origine, cependant, c'est rarement le cas (notamment ici). Sélectionnez donc le centre de rotation en vous aidant par exemple de l'option *Arc/Ellipse/Sphere center*. 
3. "Specify Vector" : nous devons définir l'axe de rotation grâce à un vecteur. Vous pouvez prendre le vecteur XC de référence.



Nous devons également dire à NX que cette contrainte cinématique lie la roue à "axle" car, par défaut, il considère que c'est par rapport au référentiel absolu. Dans la section "Base", activez "Select Motion Body" puis sélectionnez le corps "axle".

Pour terminer, avant de valider, donnez un nom correct au joint afin de comprendre facilement ce qu'il représente : "rev_wheelLeft_axle". En suivant la structure "typeDeJoint_PieceA_PieceB", il est facile de comprendre l'arborescence en lisant le *Motion Navigator*. Validez et remarquez maintenant qu'il existe une nouvelle section dans le *Motion Navigator* contenant les joints.

Il ne reste plus qu'à réaliser les mêmes opérations pour les deux autres roues.

Passons maintenant aux corps suivants :

- "side_rod" est lié à chacune des roues par des joints pivots : les liens sont libres de tourner dans le trou de "side_rod" mais leur position est bien fixée par la bielle.
- "main_rod" est lié au lien principal (roue du centre) par un joint pivot (même relation que pour "side_rod")
- "main_rod" est lié au piston ("piston_rod") par un joint pivot (mêmes raisons que les points précédents)

Pour chacun de ces joints, faites attention à la position du centre de rotation et au corps de référence (*Base*). Nous pouvons considérer pour tous ces joints que le vecteur pour la rotation est XC.

Notez que lorsqu'on spécifie un joint entre deux corps, il n'y a pas vraiment de sens (c'est un lien relatif) : déclarer qu'un corps A tourne autour d'un corps B revient au même que de dire que le corps B tourne autour du corps A.

La dernière relation à placer est celle faisant glisser le piston ("piston_rod") dans le cylindre. Pour cela, le joint correspondant est le joint prismatique, appelé "slider" dans NX.

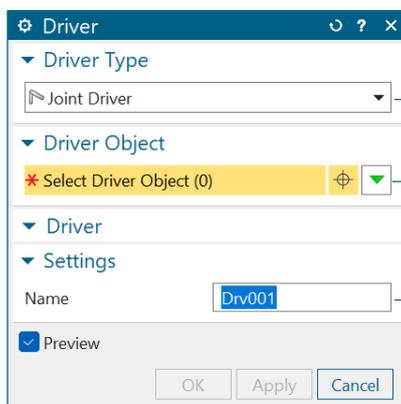
La création de ce joint avec *Joint* est similaire à *Revolute* :

- Sélectionner *Slider* dans la liste déroulante
- Section "Action" :
 - * *Motion Body* : sélectionner "piston_rod"
 - * "Origin" : sélectionner un point sur l'axe du cylindre. Par exemple, prenez le centre de la partie cylindrique où rentre le piston.
 - * "Specify Vector" : prenez le vecteur YC.
- Section "Base" : sélectionner le cylindre
- Nom : "sl_pistonRod_cylinder"

7. Imposer un mouvement (*Driver*)

Jusqu'à présent, nous avons paramétré dans NX les corps et les relations qu'ils ont entre eux. Il reste maintenant à paramétrer le mouvement : il faut représenter le mouvement du train (il n'y a actuellement aucune information indiquant un mouvement ou un quelconque moteur).

Pour imposer un mouvement, il faut utiliser la fonction *Driver* dont le bouton est disponible à côté de *Joint* et *Motion Body*.



- Sélectionnez dans la liste le type de mouvement : cela peut être selon l'un des mouvements permis par un joint (*Joint Driver*) ou un mouvement de corps (*Motion Body Driver*, pas vu dans le cadre du cours).
- Sélectionnez le joint sur lequel on souhaite imposer un mouvement. La section "Driver" en dessous s'adapte en fonction pour vous demander les paramètres du mouvement souhaité.
- Donnez ici le nom du driver.

Pour notre simulation, nous allons imposer le mouvement de rotation sur la roue de gauche. Voici notamment les deux raisons principales :

- Le mécanisme que nous avons ici est dit à "un degré de liberté", c'est-à-dire que les liaisons entre les pièces sont telles que, si on bouge une pièce selon un de ses joints, toutes les autres vont bouger avec. Autrement dit, toutes les positions peuvent être déterminées à partir d'un seul paramètre. Ce qui implique qu'il n'est possible d'avoir qu'un seul driver (qui fait varier ce paramètre au cours du temps).
- Comme nous ne pouvons imposer qu'un seul driver, autant prendre le plus simple à mettre en place : la rotation d'une roue qui est le mouvement voulu. Le mouvement de translation du piston (qui le vrai mouvement entraînant dans le mécanisme), comme nous le verrons dans l'analyse des résultats de la simulation, est plus complexe à paramétrer.

Dans la fenêtre de *Driver*, sélectionnez le joint "rev_wheelLeft_axle" (cela peut se faire via le *Motion Navigator* si vous n'y parvenez pas dans le modèle).

La section "Driver" de la fenêtre s'adaptera alors, vous demandant le type de mouvement en rotation (ce qui est logique vu que le joint *Revolute* n'autorise que la rotation sur son axe). Sélectionnez *Polynomial* dans la liste déroulante : ce mode permet d'écrire l'équation du mouvement à partir de paramètres comme la position de départ, la vitesse et l'accélération. Nous allons imposer un mouvement constant de rotation de 20°/s. Pour ce faire, laissez les paramètres à zéro sauf celui de la vitesse pour laquelle vous indiquez la vitesse souhaitée.

Avant de valider, donnez un nom correct au driver, tel que "drv_wheel".

8. Vérification du modèle

Tous les paramètres nécessaires à la simulation concernant le mécanisme ont été donnés à NX (corps, joints et mouvement). Avant de s'occuper du solveur (le solveur est le programme qui va réaliser la simulation en résolvant une série de calculs matriciels), vérifions toutefois si toutes les données que nous avons introduites ne comportent pas d'erreur.

Dans l'onglet *Analysis* est disponible la fonction *Model Check* : après avoir cliqué dessus, une fenêtre apparaît avec un compte-rendu de NX. Si vous avez correctement suivi les étapes précédentes, il ne devrait pas indiquer d'erreur, mais il vous donnera une liste d'éléments auxquels vous devez faire attention ("Warning").

En effet, il vous prévient que tous les joints que nous avons définis sont exprimés selon les axes absolus et non ceux relatifs au corps (rappelez vous, on prenait à chaque fois XC et YC). Il a raison, il est toujours préférable d'exprimer selon les axes des corps : les joints sont généralement une relation entre pièces et les axes des joints sont rarement parallèles avec ceux du repère absolu. Dans le cas de notre mécanisme, ils restent toujours parallèles durant le mouvement, il n'y a donc pas de risque d'erreur dans les calculs sauf si le repère absolu est modifié (dans ce cas, nous sommes obligés de refaire les joints).

Pour faire en sorte que les axes des joints soient en lien avec la géométrie des pièces impliquées, il existe plusieurs méthodes décrites en [Annexe A](#).

9. Paramètres du solveur

Pour ajouter un solveur et le paramétrer, cliquez sur *Solution* (logo de calculatrice) qui se trouve tout à gauche dans l'onglet *Home*. Si vous voyez *Environment* à la place, cliquez sur la petite flèche en dessous pour le trouver dans la liste déroulante.

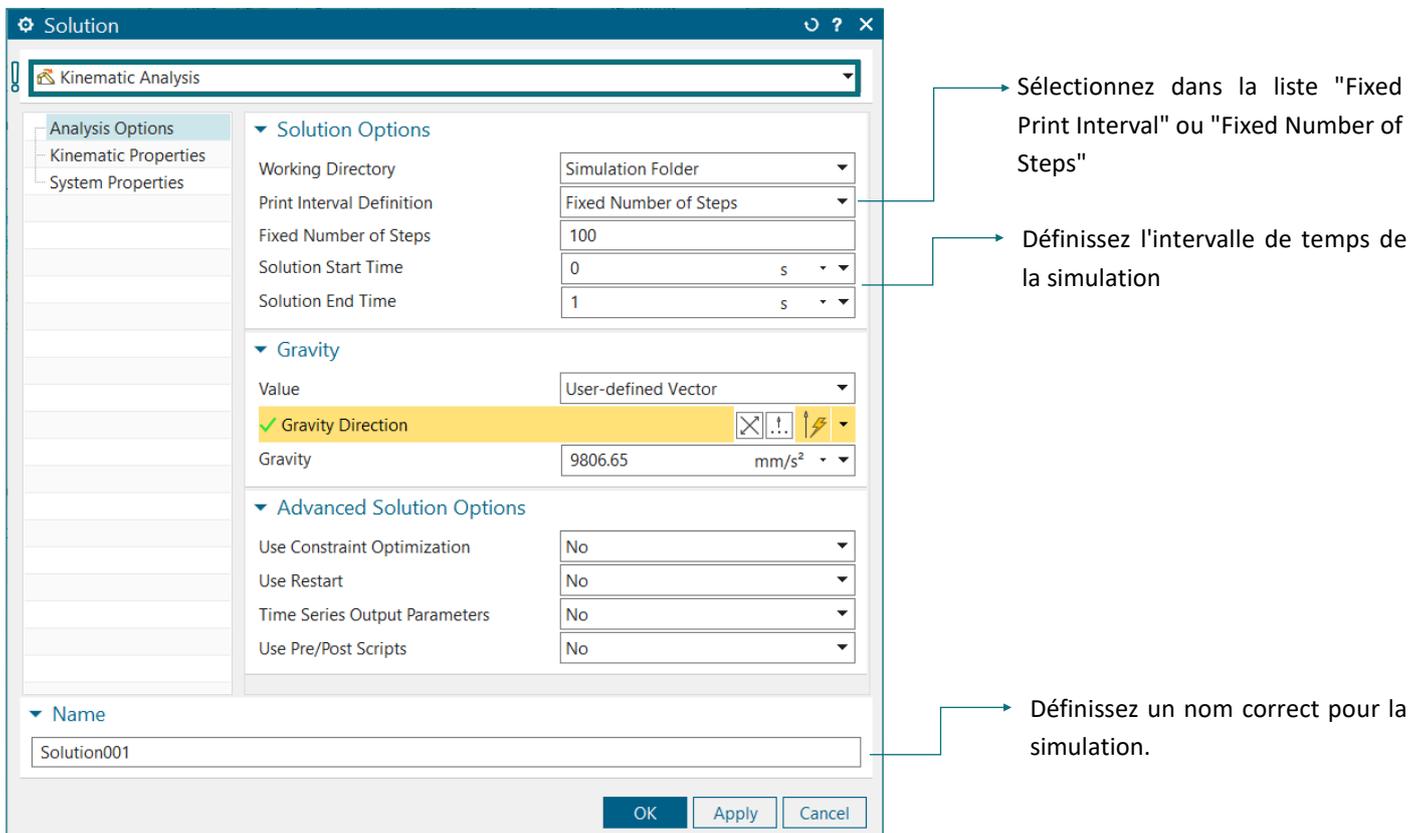
Dans la fenêtre qui s'ouvre, veuillez sélectionner dans la liste déroulante au-dessus le mode *Kinematic Analysis* puisque nous souhaitons réaliser une simulation cinématique. Ensuite, nous compléterons le reste des informations avec les paramètres de notre simulation.

Dans "Solution Options" pour le champ "Print Interval Definition" : nous pouvons demander au solveur de sauvegarder les positions du mécanisme à certaines étapes de la simulation. Ce seront ces positions que nous pourrons voir dans l'animation de la simulation notamment. Pour ce paramètre, nous devons choisir comment ces étapes sont définies :

- "Fixed Print Interval" : l'intervalle de temps entre les étapes de simulation est constant. Avec le champ "Fixed Print Interval" (qui apparaît si ce choix est sélectionné), nous

pouvons par exemple dire d'enregistrer toutes les 0.1s.

- "Fixed Number of Steps": l'intervalle de temps entre les étapes de simulation est également constant, mais il est déterminé à partir du nombre d'étapes ("steps") que l'on veut enregistrer et non selon le temps entre elles. Avec le champs "Fixed Number of Steps" (qui apparait si ce choix est sélectionné), nous pouvons par exemple dire d'enregistrer la simulation en 100 étapes.



Pour notre simulation, nous souhaitons voir un peu plus qu'un cycle complet. Comme nous avons paramétré le driver à une vitesse de 20 °/s, une durée de 20 s est suffisante (il devra donc faire un tour complet plus 40°). De plus, afin d'avoir une animation compréhensible sans pour autant sauvegarder trop d'étapes inutiles, demander 200 pas semble satisfaisant (cela signifie que dans l'animation de la simulation, entre chaque étape, il se sera écoulé 0.1s).

Ainsi, paramétrez le solveur avec ces paramètres (puis validez) :

- "Fixed Number of Steps" avec un nombre de 200 pas
- "Solution Start Time" : 0 s
- "Solution End Time" : 20 s
- "Name" : "simulation_1"

Dorénavant, le solveur est accessible dans le *Motion Navigator*. Il est en bleu ciel s'il est actif, c'est-à-dire que les calculs ou les résultats affichés de la simulation proviennent de lui et que, si on lance des calculs, ce sera pour ce solveur. Il est en effet possible de créer plusieurs simulations différentes sur un même modèle pour réaliser différents tests (variation de conditions, etc.).

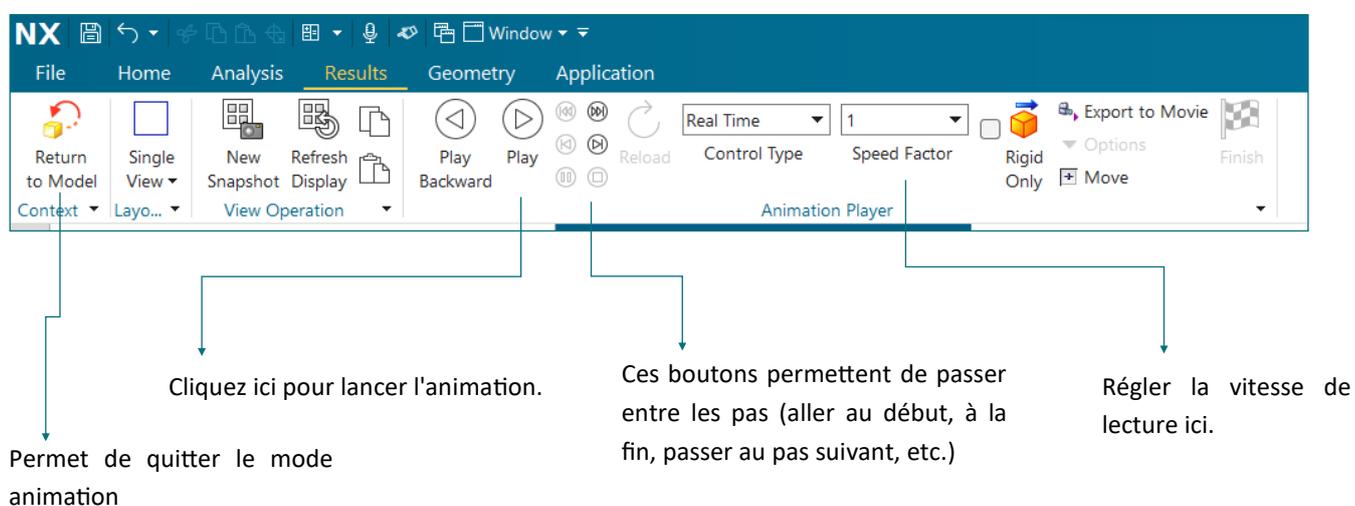
10. Calculs et résultats

Il ne nous reste plus qu'à lancer les calculs de la simulation en cliquant sur *Solve* qui est à côté du bouton *Solution* de l'onglet *Home*. Une fenêtre va alors s'ouvrir où NX va écrire les étapes générales de son calcul.

Normalement, s'il n'y a pas eu d'erreur dans les étapes précédentes, il devrait terminer d'écrire après la ligne "Current progress status : 100%, 19.90s of 20.00s". Cela signifie qu'il a terminé de calculer toutes les étapes que nous lui avons demandées. Cette fenêtre sert à comprendre les étapes du solveur et à voir, dans le cas où il y aurait eu une erreur, où celle-ci a eu lieu (voir note en [Annexe B](#)). Quand tout va bien, on peut la fermer et aller regarder les résultats : l'animation du mouvement ou les graphiques.

10.1. Animation

Pour voir le mouvement, allez dans l'onglet *Results*, vous y verrez les boutons de commande de l'animation.



Lorsque vous lancez la vidéo (*Play*), vous verrez directement l'animation dans la fenêtre graphique. Notez également qu'une petite fenêtre grise est apparue dans le coin indiquant le temps écoulé et l'étape (le pas) affichée.

Pour quitter le mode animation et accéder aux informations du modèle, il faut cliquer sur *Return to Model*. Si vous ne cliquez pas dessus, NX ne vous laissera pas travailler sur le modèle (comme modifier des éléments si vous n'êtes pas satisfait des résultats ou accéder aux graphiques de résultat). Pour consulter les graphiques, comme expliqué dans l'étape suivante, veillez à bien avoir cliqué dessus avant.

10.2. Graphiques

Dans le *Motion Navigator* se trouve en bas la section *XY Result View*. Si elle est fermée, cliquez dessus pour l'étendre. Cette section affichera à l'intérieur les graphiques que vous pouvez avoir en fonction de ce que vous avez sélectionné dans la liste du *Motion Navigator* au-dessus.

Nous voulons voir le mouvement du piston au cours du temps par un graphique :

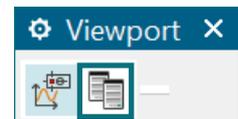
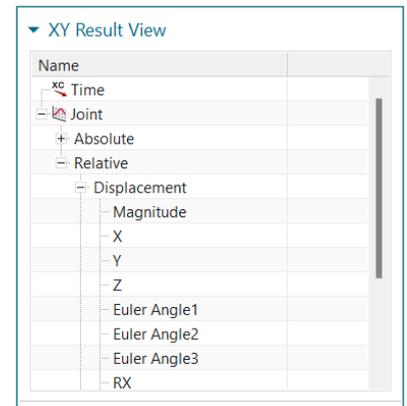
1. Sélectionnez dans la liste du *Motion Navigator* le joint "sl_pistonRod_cylinder". La liste dans *XY Result View* s'adaptera.
2. Déroulez la liste "Relative" puis "Displacement".

Dans la liste sont affichées les mesures du déplacement relatif, cela signifie donc qu'ils sont exprimés selon les axes du joint. Pour la plupart des joints (comme pivot ou prismatique), l'axe Z est l'axe selon lequel le mouvement est permis.

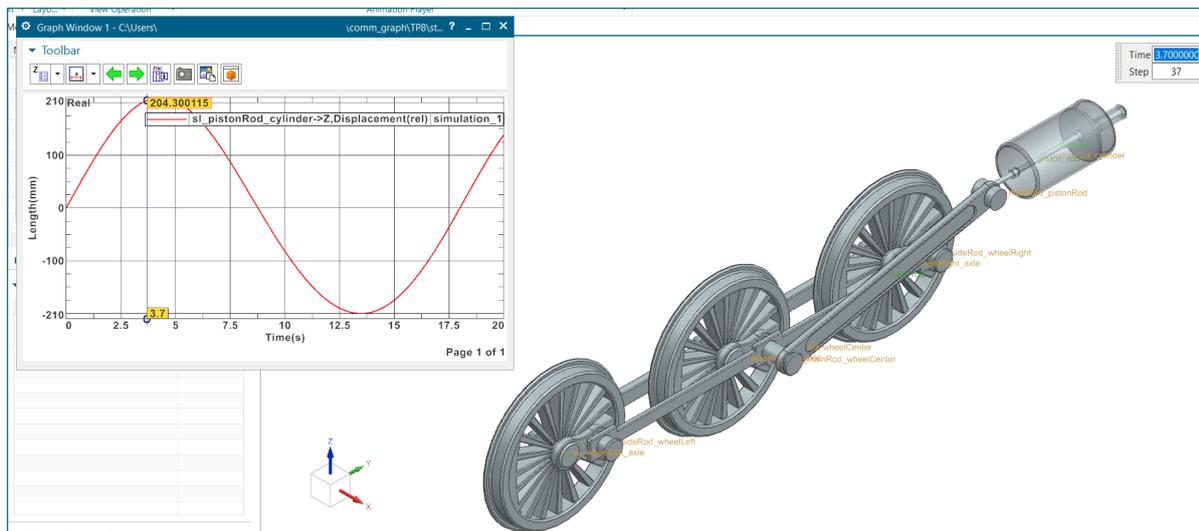
Pour tracer le mouvement du piston, il faut donc faire double-clic sur Z.

NX va vous demander via la fenêtre *Viewport* où vous souhaitez qu'il trace le graphique. Cliquez sur *Create a New Window to Plot*, représenté par un icône montrant deux fenêtres, pour ouvrir une fenêtre individuelle avec le graphique.

Vous obtiendrez alors le graphique montrant le mouvement du piston qui est bien comme la simulation nous l'a montré sinusoïdale.



Notez que si vous laissez la fenêtre ouverte et lancez l'animation, vous verrez que NX vous montre le parcours du graphique ou cours du temps.



Annexe A - Joints basés sur les corps

Pour créer un joint basé sur la géométrie des corps qu'il lie, il faut que l'origine (point sélectionné dans le champ "Specify Origin") et l'axe du joint (vecteur sélectionné dans le champ "Specify Vector") soient déterminés à partir d'un ou des corps.

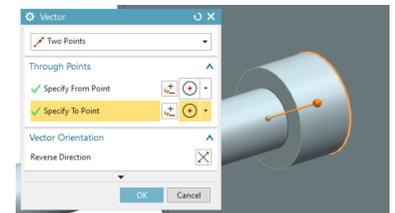
Durant l'exercice, nous avons utilisé la géométrie des corps pour définir les origines car il est difficilement possible autrement : nous prenons les centres des parties cylindriques grâce à l'option *Arc/Ellipse/Sphere center*. En revanche, nous avons utilisé les axes du repère absolu XC et YC.

Pour définir un vecteur en se basant sur la géométrie, il existe plusieurs options intéressantes, car, comme pour la définition de l'origine, vous pouvez via la liste déroulante choisir plusieurs méthodes de sélection de votre vecteur. Cependant, pour avoir un meilleur contrôle sur les étapes de sa création, il est plus intéressant de cliquer sur le bouton juste à côté nommé *Vector Dialog*. Dans cette nouvelle fenêtre, vous pouvez choisir plusieurs options, dont notamment :



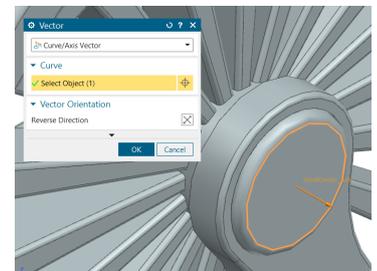
Two Points Cette option permet de définir un vecteur à partir de deux points. Ce vecteur sera celui de la droite reliant ces deux points.

Vous pouvez combiner cette option avec les options de sélection de point. Ce qui la rend utile pour définir un axe à partir de deux points éloignés (entraxe ou point de passage).



Curve/Axis Vector Cette option permet de sélectionner les vecteurs de droite ou de courbe. Autrement dit, en sélectionnant une droite, le vecteur lui sera parallèle et avec une courbe fermée ce sera son vecteur normal.

Très pratique pour rapidement définir un axe d'un cercle par exemple.

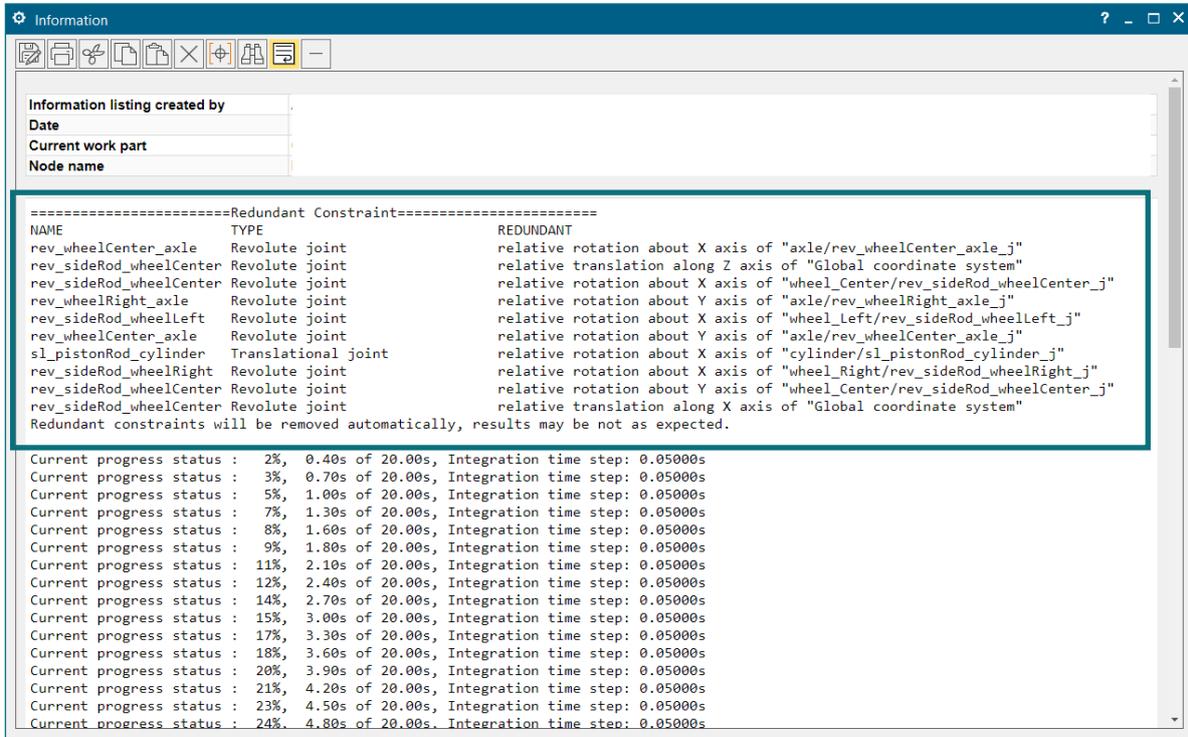


Notez qu'il est également possible de changer le repère absolu (ça peut être intéressant dans le cas où on voudrait extraire des données selon d'autres axes que ceux relatifs). Faites double-clique sur le repère absolu, puis vous pouvez cliquer pour placer le nouveau centre (ex: base d'un cylindre, coin d'une pièce, etc.). Le repère se déplace de la même manière que les pièces dans l'assemblage, avec les flèches pour la translation, etc. Notez que si vous cliquez sur une flèche, une petite fenêtre s'ouvre afin de vous aider à sélectionner le vecteur de référence (avec des méthodes comme présentées ci-dessus).

Annexe B - Hypercontraintes

Cette simulation donne certes des résultats corrects, mais en réalité, nous n'avons pas défini les joints (contraintes cinématiques) correctement : dans la fenêtre où s'écrivaient les étapes du solveur, nous avons raté une notification importante.

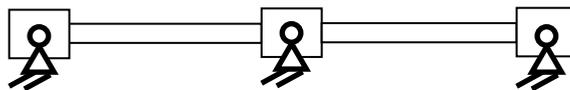
En remontant au début du texte, NX nous a indiqué ceci :



En effet, NX a décidé de modifier nos joints avant de réaliser la simulation et il nous met en garde sur les résultats qu'on obtiendra puisqu'il indique "Redundant constraints will be removed automatically, results may be not as expected."

La raison est qu'en réalité, nous avons sur-contraint notre modèle, ce qui revient mathématiquement à mettre plus d'équation qu'il y a d'inconnues. NX procède donc à l'élimination des équations inutiles ou répétées afin qu'il puisse résoudre son système d'équations. Il y a en effet 10 contraintes en trop, NX a alors supprimé 10 relations parmi les joints que nous avons placés : les 10 relations qu'il a choisies sont clairement écrites dans le document (voir encadré ci-dessus).

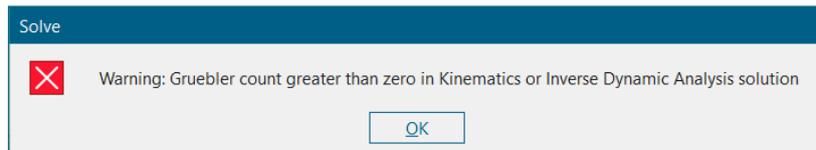
Nous pouvons comprendre physiquement le problème ici. Par exemple : si nous prenons le cas de "side_rod", nous avons placé des joints pivots entre lui et les trois roues, ce qui revient à dire que "side_rod" est lié en X, Y et Z à trois endroits différents. Cependant, si la position de deux joints est connue, le troisième l'est aussi puisque ces trois points sont liés au même corps indéformable.



La détermination de joints corrects est au-delà du cours de communication graphique, mais il est clair que, normalement, nous ne pouvons pas laisser NX modifier nos modèles lui-même. En effet, en ayant un contrôle total sur le modèle, nous avons un contrôle sur les résultats. N'oubliez pas qu'il faut toujours être critique envers les résultats ! C'est effectivement le travail d'un ingénieur de savoir si le logiciel ne donne pas de bons résultats (et très souvent c'est dû à une mauvaise utilisation du logiciel).

Annexe C - Derniers conseils

- Il est possible de combiner des joints : en plaçant un joint *Planar* et un *Cylindrical*, vous créez un joint *Revolute* (en respectant bien les axes).
- Lorsque vous devez choisir quel joint deviendra votre driver, choisissez un joint qui a un mouvement facile à décrire. Il est souvent plus simple de sélectionner une pièce qui subit une rotation constante, voire même qui subit une accélération, plutôt qu'une pièce subissant des translations en va-et-vient dont l'amplitude est indéterminée. Choisissez une pièce ayant le mouvement le plus régulier possible.
- Comme précisé en Annexe B, NX peut supprimer les contraintes en mode cinématique, car ce mode nécessite que toutes les équations soient solvables. Par contre, le mode dynamique lui fait intervenir d'autres méthodes numériques qui lui permettent d'être moins impacté par le nombre de contraintes. Attention que le mode dynamique fait intervenir les inerties et les forces, ainsi les résultats ne sont pas les mêmes ! Si votre simulation ne lance pas, il peut être intéressant de brièvement passer en mode dynamique pour comprendre les paramètres à changer.
- Comme précisé en Annexe B, NX peut supprimer les contraintes mais, par contre, il ne peut pas en ajouter. S'il n'y a pas suffisamment de contrainte, NX ne saura pas résoudre les équations et vous indiquera l'erreur suivante :



- Si durant la phase de calcul du solveur, celui-ci s'arrête et vous avez une fenêtre d'erreur avec la mention "Solver Lock-up", cela signifie que le solveur est arrivé à un point qu'il n'arrive pas à résoudre. Cela peut signifier deux choses : soit le mécanisme a pris une position pour laquelle il existe plusieurs mouvements possibles, donc il n'y a pas d'unique solution, soit le mécanisme est bloqué, car il y a une incompatibilité entre les joints et le driver (p. ex. : le driver force la pièce alors qu'elle est bloquée par une autre).