

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université 8 Mai 1945 – Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Electrotechnique et Automatique

Réf :/2023



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER Académique**

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electromécanique

Spécialité/Option : Electromécanique

Par : GASMI Mohammed Achraf & DJABRI Hassane

Thème

Étude mécanique d'une scie sauteuse sous SolidWorks Motion et MECA3D

Soutenu publiquement, le 18/06/2023, devant le jury composé de :

M^{me} CHAABI Lilia

MCB

Univ. Guelma

Président

M^r FRIHI Djamel

MCA

Univ. Guelma

Encadreur

M^{me} FRIOUI Nadia

MCB

Univ. Guelma

Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

REMERCIEMENT

Le grand remerciement revient à Dieu, qui nous a donné la force et le courage de pouvoir terminer ce travail.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement du **Dr Djamel FRIHI**, nous le remercions pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Sans oublier tous ceux qui nous ont aidés et encouragés de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Enfin, je ne saurais terminer ces remerciements sans oublier nos familles, sans exception, ainsi que tous nos amis.

DEDICACES

À mes chers parents, mes frères et ma grande sœur, votre soutien inébranlable et vos encouragements sans fin ont façonné mon parcours.

Ce mémoire témoigne de votre amour infini et de vos sacrifices.

À mon professeur exceptionnel (Dr Djamel Frihi), votre guidance et votre sagesse ont éveillé ma passion pour l'apprentissage. Ce travail est le reflet de votre mentorat inestimable et de votre inspiration.

GASMI Mohammed Achraf

A mes chers parents, pour leurs soutiens inconditionnels, leurs encouragements, et Bien sûr pour m'avoir permis de réaliser mes études dans les meilleures conditions ; à toute ma grande famille ;
A ceux qui m'ont soutenu pendant toute la durée de mes études...
...je dédie ce modeste travail.

DJABRI HASSANE

RÉSUMÉ :

Le travail réalisé dans le cadre de notre projet de fin d'étude, pour l'obtention du diplôme de master, en génie électrique, option électromécanique ; est fondé essentiellement sur l'exploitation des performances de deux compléments de **SolidWorks** qui sont **Motion** et **MECAD3D** est cela dans une étude de conception et d'optimisation d'un système mécanique largement utilisé dans la transmission de puissance avec transformation de mouvement.

Il s'agit d'un système analogue au système bielle manivelle appelé mécanisme à **coulisseau** utilisé pour transformer la rotation d'un moteur asynchrone à un mouvement alternatif de va et vient de la **scie sauteuse**.

L'étude de conception faite en premier lieu sur le mécanisme de base de la scie sauteuse a abouti à plusieurs types de configurations qui peuvent d'être pris comme solution dans l'étude du mécanisme, mais avec un niveau élevé de difficulté dans la résolution des problèmes, que ce soit cinématique ou statique et cela dû principalement à son degré d'**hyperstaticité** supérieur à un. Ceci rend la résolution des systèmes d'équations gouvernant les deux problèmes quasiment impossibles à cause du nombre d'inconnues qui est supérieur au nombre d'équations.

La complexité du système et les équations régissant ces mécanismes, signifie que les solutions analytiques aux problèmes, qu'ils soient cinématique ou statique, ne sont pas toujours clair et simple, c'est pourquoi nous utilisons généralement des outils informatiques pour surmonter ce genre de difficultés et avoir des solutions fiables et rapides.

Ainsi, l'étude d'optimisation réalisée par le biais de **MECA3D** complément de SolidWorks, nous a permis de trouver un mécanisme, **isostatique**, de base de la scie sauteuse capable de transmettre de la puissance avec transformation de mouvement et avec un respect total de la loi entrée-sortie exigé par le fonctionnement de la machine.

La solution des paramètres cinématiques du mécanisme proposé est en bonne concordance avec la solution analytique ainsi que la solution trouvée avec **SolidWorks motion**.

Mots clés : Coulisseau, SolidWorks Motion, Cinématique, MECA3D, Scie Sauteuse, Hyperstaticité.

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Figure I-1 : Différentes représentations des objets techniques	4
Figure I-2 : de gauche à droite : Croquis montrant un piston dessin et schéma associé	4
Figure I-3 : Nature des contacts	6
Figure I-4 : Association contacts-liaisons élémentaires	6
Figure I-5 : Liaison pivot	8
Figure I-6 : Nature de contact	9
Figure I-7 : Liaisons en série	10
Figure I-8 : Liaisons en parallèle	10
Figure I-9 : Exemples de schémas cinématiques	13
Figure I-10 : Différentes configurations de chaînes	14
Figure I-11 : Graphe de liaisons	15
Figure I-12 : chaîne ouverte (liaisons en série)	15
Figure I-13: Chaîne fermée (forme une boucle)	16
Figure I-14: Chaîne complexe qui présente plusieurs boucles (ou cycles)	16

CHAPITRE II

Figure II-1 : Exemples des pièces avec sa mise en plan sous SolidWorks	26
Figure II-2 : Choix du module	27
Figure II-3 : Etude de simulation d'un piston sous SolidWorks Simulation	27
Figure II-4 : Etude de simulation d'un ensemble bielle/piston sous SolidWorks Simulation	27
Figure II-5 : Etude de simulation des effets du vent sur un bâtiment de Formes complexes sous SolidWorks Flow Simulation [28
Figure II-6 : Interface de logiciel SolidWorks (module pièce)	28
Figure II-7 : la barre d'outils Esquisse	29
Figure II-8 : la barre d'outils Fonction	29
Figure II-9 : Des formes 3D réalisé par SolidWorks	30
Figure II-10 : la barre d'outils affichage	30
Figure II-11 : la barre d'outils Assemblage	30

Figure II-12 : les barre d'outils conçu pour la mise en plan	31
Figure II-13 : la barre d'outils de PhotoView 360	32
Figure II-14 : fenêtre de choix de type d'animation	33
Figure II-15 : la barre d'outils de SolidWorks FlowSimulation	33
Figure II-16 : la barre d'outils de SolidWorks Simulation	34
Figure II-17 : la barre d'outils de simulation	37
Figure II-18 : Définir le type d'étude	37
Figure II-19 : Choix du matériau	38
Figure II-20 : Fenêtre des caractéristiques des matériaux	38
Figure II-21 : Appliquer les conditions aux limites	39
Figure II-22 : Créer le maillage	40
Figure II-23 : Exécuter le programme	40
Figure II-24 : Visualisation des résultats	41
Figure II-25 : Dessin du corps fixe	50
Figure II-26 : Assemblage de la Roue / Corps	51
Figure II-27 : Assemblage du connecteur / Roue manivelle	51
Figure II-28 : Assemblage de la bague / Connecteur	52
Figure II-29 : Assemblage du porteur de lame avec le système	52
Figure II-30 : La scie sauteuse complet	53
Figure II-31 : Les composants du mécanisme de la Scie Sauteuse éclaté	53

CHAPITRE III

Figure III-1 : Représentation constructive (a) et schématique (b) de la scie sauteuse	55
Figure III-2 : Schéma du mécanisme à coulisseau et manivelle dans lequel l'axe de guidage ne passe pas par l'axe de rotation de la manivelle.	56
Figure III-3 : Schéma du mécanisme à coulisseau et manivelle dans lequel l'axe de guidage ne passe pas par l'axe de rotation de l'élément moteur (cas de la scie sauteuse).	59
Figure III-4 : Analyse de mouvement dans SolidWorks motion	
Figure III-5 : Assemblage des éléments de base de la scie sauteuse	61
Figure III-6 : Création automatique de connexions internes à partir des contraintes d'assemblage SolidWorks	61 62
Figure III-7 : Identification de l'élément moteur	63
Figure III-8 : choix du type d'étude (analyse de mouvement)	64
Figure III-9 : Introduction de la durée de simulation	64
Figure III-10 : Exécution de la simulation	65
Figure III-11 : Exploitation de l'étude	66
Figure III-12 : Choix du type de résultats	66
Figure III-13 : La vitesse linéaire (a) et angulaire (b) du centre de l'extrémité haute de la manivelle.	67
Figure III-14 : Trajectoires des centres des liaisons pivots (manivelle-bielle et bielle-porte lame)	68 69
Figure III-15. : Positions instantanées du mécanisme de base de la scie sauteuse	69
Figure III-16. : Trajectoire circulaire du centre de la liaison pivot.	70 71
Figure III-17 : Course du coulisseau (porte lame) pour un tour complet	
Figure III-18 : Vitesse linéaire du coulisseau pour un tour complet de la manivelle	72
Figure III-19 : Accélération linéaire du coulisseau porte-lame pour un tour complet	72
Figure III-20 : Position des centres de gravité du coulisseau (porte-lame) et de la manivelle	74

Figure III-21 : Association des trois courbes de l'étude cinématique du coulisseau (porte-lame)	75
Figure III-22 : Dessin du coulisseau porte-lame sous SolidWorks	76
Figure III-23 : Géométrie fixe et chargement du coulisseau sous SolidWorks	77
Simulation	77
Figure III-24 : Maillage du coulisseau porte-lame	77
Figure III-25 : Déplacement du coulisseau sous chargement statique	
Figure III-26 : Contrainte de Von Mises	
Figure III-27 : Evolution du coefficient de sécurité sous chargement statique	

CHAPITRE IV

Figure IV-1 : Schéma cinématique et la transformation du mouvement	79
Figure IV-2 : Schéma de principe de la scie sauteuse	80
Figure IV-3 : Dimension de (Roue - Roue Connecteur - Porte lame)	80
Figure IV-4 : Exemple de configuration de la scie sauteuse	84
Figure IV-5: Graphe de structure des liaisons du modèle 1	84
Figure IV-6: Graphe de structure des liaisons du modèle 2	85
Figure IV-7 : Graphe de structure après modification	89
Figure IV-8 : Exemple de résultats obtenu par MECA3D (trajectoire d'un point de la Roue Connecteur)	95
Figure IV-9 : Ensemble des résultats et des courbes (paramètres cinématiques) du coulisseau (Porte-Lame en MÉCA3D)	97
Figure IV-10 : Courbes de positions des deux points particuliers régissant la loi E/S	98
Figure IV-11 : Courbes des vitesses des deux points particuliers régissant la loi E/S	
Figure IV-12 : Courbes des accélérations des deux points particuliers régissant la loi E/S	99
	100

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I

Tableau I-1 : Liaisons élémentaires.....	8
--	---

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre I : Théorie des mécanismes	
I-1 : Introduction	3
I-2 : Définition d'un mécanisme	3
I-3 : But de la modélisation cinématique	4
I-4 : Classes d'équivalence cinématique	4
I-5 : Liaisons.....	5
I-5-1 : Liaisons élémentaires et liaisons simples	5
I-5-2 : Liaisons composées et liaisons équivalentes	5
I-5-3 : Modélisation des liaisons – Contact et liaisons	6
I-6 : Nature des surfaces et modèle de liaison retenu.....	9
I-7 : Liaisons équivalentes.....	9
I-7-1 : Liaisons en série	9
I-7-2 : Liaisons en parallèle	10
I-8 : Couples cinématiques et schémas cinématiques	12
I-9 : Graphe des contacts	12
I-10 : Schéma cinématique niveau architectural	13
I-11 : Aspects cinématiques des contacts : Notion de mobilité et d'hyperstatisme	13
I-12 : Analyse du graphe des contacts.....	14
I-13 : Classification des chaînes cinématiques.....	15
I-13-1 : chaînes de solides	15
I-13-2 : Représentation d'une chaîne de solides.....	15
I-13-3 : différentes structures	15
I-14 : Détermination d'une loi Entrée-Sortie	16
I-15 : Etude cinématique d'une chaîne complexe	17
I-15-1 : Introduction	17
I-15-2 : Approche cinématique.....	17
I-16 : Approche statique	21
I-16-1 : Détermination du nombre d'équations	21
I-16-2 : Détermination du nombre d'inconnues	21
I-16-3 : Indice de mobilité	22
I-16-4 : Degré d'hyperstatisme.....	22

I-16-5 : Degré de mobilité	23
I-17 : Comparaison des approches	24

CHAPITRE II : Introduction à SolidWorks

II-1 : INTRODUCTION.....	26
II-2 : Le module pièce	28
II-2-1 : Interface.....	28
II-2-2 : Les barres d’outils	29
II-3 : LE MODULE ASSEMBLAGE	30
II-4 : LE MODULE MISE EN PLAN	30
II-5 : PhotoView 360.....	31
II-6 : SOLIDWORKS Motion.....	31
II-7 : SOLIDWORKS FlowSimulation.....	32
II-8 : SOLIDWORKS Simulation	32
II-8-1 : Outils SolidWorks Simulation	33
II-8-2 : 6 étapes pour votre première simulation SOLIDWORKS	35
II-8-3 : Objectif.....	42
II-8-4 : Présentation	42
II-8-5 : Avantages	42
II-8-6 : Fonctionnalités	42
II-9 : Etude de conception des éléments de base d’une scie sauteuse sous SolidWorks.....	46
II-10 : Conception de la Scie sauteuse	48
II-11 : Conclusion.....	52

Chapitre III : Etude cinématique et dynamique du mécanisme à coulisseau, de la scie sauteuse, sous SolidWorks

III-1 : Introduction.....	54
III-2 : Description du modèle	54
III-3 : Etude cinématique du mécanisme à coulisseau de la scie sauteuse.....	56
III-3-1 : Solution analytique	56
III-3-2 : Etude cinématique du mécanisme à coulisseau et manivelle	56
III-4 : Etapes de la simulation	60
III-4-1 : Passage à SolidWorks Motion Manager	60
III-4-2 : Composants fixes et mobiles	61

III-4-3 : Création automatique de connexions internes à partir des contraintes d'assemblage SolidWorks	62
III-4-4 : Spécification du mouvement d'entrée	62
III-4-5 : Type d'analyse de mouvement.	63
III-4-6 : Durée de la simulation	64
III-4-7 : Exécution de la simulation.....	64
III-4-8 : Exploitation de l'étude (extraction des résultats)	65
III-4-9 : Détermination de la trajectoire du coulisseau (porte lame)	69
III-4-10 : Vitesse du coulisseau (porte-lame)	70
III-4-11 : Accélération du coulisseau (porte-lame)	71
III-4-12 : Positions des centres de gravité de la manivelle et du coulisseau	71
III-5 : Etude mécanique du coulisseau porte-lame	73
III-5-1 : Etude statique de la bielle	73
III-6 : Conclusion	78
Chapitre IV: Simulation cinématique de la scie sauteuse sous MECA3D	
IV-1 : Introduction	79
IV-2 : Optimisation du mécanisme de base de la scie sauteuse	81
IV-3 : Optimisation, par MECA3D, du mécanisme de base de la scie sauteuse	85
IV-3-1 : Principe	85
IV-3-2 : Définition du modèle cinématique	86
IV-4 : Simulation, par MECA3D, du comportement cinématique du mécanisme retenu.....	90
IV-5 : Extraction des résultats	91
IV-6: Exemples de paramètres cinématiques trouvés par MECA3D.....	96
IV-6-1 : Courbes de positions des deux points particuliers6.....	96
IV-6-2 : Vitesses linéaires des deux points particuliers	99
IV-6-3 : Accélérations linéaires des deux points particuliers	100
IV-7 : Conclusion	101
Conclusion Générale	102
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	104

INTRODUCTION GENERALE

Solidworks est un logiciel de conception assistée par ordinateur, appartenant à la société Dassault Systèmes. Il utilise le principe de conception paramétrique et génère trois types de fichiers qui sont liés : la pièce, l'assemblage, et la mise en plan. Ainsi toute modification sur un de ces trois fichiers sera répercuté sur les deux autres.

Solidworks permet de réaliser de la modélisation 2D et 3D, ce logiciel de CAO est réputé pour sa simplicité d'utilisation et se veut intuitif.

Le logiciel de conception assistée par ordinateur (SolidWorks®) est une application de conception mécanique 3D paramétrique qui permet aux concepteurs d'esquisser rapidement des idées, d'expérimenter des fonctions et des côtes afin de produire des modèles et des mises en plan précises.

Le présent travail exploite et explique les concepts et la terminologie de l'application SolidWorks dans le but de se familiariser avec les fonctionnalités les plus utilisées de SolidWorks à savoir le modeleur 3D, SolidWorks Motion & SolidWorks Simulation.

L'intérêt majeur de ce travail c'est l'utilisation rationnelle du logiciel SolidWorks avec ses compléments (SolidWorks Motion & MECA3D) pour faire une étude cinématique d'un type de mécanisme largement utilisé dans la vie quotidienne, il s'agit de la scie sauteuse considérée comme mécanisme plan utilisant le transfert de puissance avec transformation de mouvement.

A cet effet, le travail réalisé dans le cadre de notre projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de génie électrique, option électromécanique, a fait l'objet d'une étude de conception et simulation du mécanisme de base d'une scie sauteuse.

Ainsi, le premier chapitre a été réservé à la définition des mécanismes d'une façon générale et en particulier les mécanismes plans et Liaisons, leurs types et leurs emplois dans l'industrie.

La présentation de SolidWorks ainsi que ses compléments (tel que SolidWorks Motion et MECAD3D) a fait l'objet du deuxième chapitre. Ce dernier nous l'avons terminé par une étude de conception d'une scie sauteuse.

Le troisième chapitre a été consacré à l'étude cinématique du mécanisme à coulisseau, de la scie sauteuse, sous SolidWorks Motion ainsi qu'une étude mécanique de résistance sous un chargement statique. Cette dernière partie a été faite essentiellement dans le but de localiser les zones fragiles de la pièce porte-lame afin de déterminer les forces limites de sciage et cela pour augmenter la durée de vie du mécanisme.

L'exploitation d'un deuxième module complément de SolidWorks qui est MECA3D a fait l'objet du quatrième chapitre. Ce complément a été utilisé, dans un premier temps, pour une étude d'optimisation de l'hyperstaticité du mécanisme de base de la scie sauteuse et secundo pour étudier cinématiquement le système isostatique adopté.

Chapitre I

Théorie des mécanismes

I-1 : Introduction :

Lors de la conception d'une machine, il est nécessaire de s'assurer que chaque mécanisme envisagé donne bien les mobilités souhaitées. L'étude du mécanisme permet également d'obtenir des informations précieuses pour la conception des liaisons.

Un système mécanique est caractérisé par une cinématique interne liée à la réalisation d'une ou plusieurs fonctions techniques. Dans le cadre de ce travail, les objectifs de l'analyse d'un tel mécanisme sont :

- Comprendre son fonctionnement ;
- Trouver les lois d'entrée-sortie du système (nécessaire pour établir son pilotage);
- Mettre en évidence les conditions de compatibilité géométriques (nécessaire à la cotation géométrique des pièces) ;
- Caractériser les contacts entre les pièces et la nature des actions mécaniques internes ;
- Déterminer pour des cas simples ces actions mécaniques de liaisons permettant ainsi de valider le choix de composants de liaison ou les dimensions nominales des pièces.

I-2 : Définition d'un mécanisme

Un mécanisme est un ensemble de pièces positionnées entre-elles par des liaisons dans le but de réaliser une ou plusieurs fonctions [1,2].

La théorie des mécanismes a donc pour but :

- Dans un contexte d'analyse, de vérifier l'aptitude d'un mécanisme existant à réaliser la loi entrée/sortie recherchée, et de mettre en évidence les conditions géométriques dont dépend éventuellement le bon fonctionnement de l'appareil.
- Dans un contexte de conception, de rechercher des dispositions constructives qui réalisent la loi entrée/sortie souhaitée d'une part, et pour lesquelles on est certain de pouvoir calculer les actions mécaniques internes en vue du dimensionnement, des organes mécaniques d'autre part.

La théorie de mécanismes est à la fois :

- ✓ Une méthode d'analyse qui conduit à une mise en équation
- ✓ Une méthode de résolution qui met en évidence le fonctionnement cinématique
- ✓ Une méthode de contrôle qui fournit des conditions de compatibilité.

Les hypothèses de travail en théorie des mécanismes sont celles de la cinématique du solide :

- ✓ Des pièces modélisées par des solides indéformables
- ✓ Des liaisons parfaites (sans frottement) => complémentarité entre le torseur des efforts et le torseur cinématique

- ✓ Des liaisons à contact bilatéral => le contact est supposé maintenu si le sens des actions mécaniques est inversé. (Cas des liaisons ponctuelles, linéaire rectiligne, appui plan)
- ✓ Des pièces de masse nulle (efforts d'inertie nuls)

I-3 : But de la modélisation cinématique

Un modèle est une représentation orientée d'un système réel. Il a pour but de chercher à prévoir le comportement du système réel en s'appuyant sur des notions théoriques maîtrisées. Suivant l'objectif, on utilisera différents modèles.

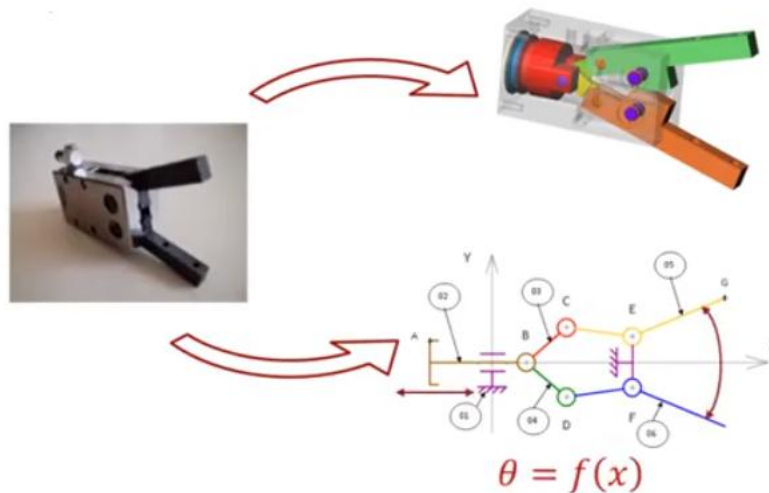


Figure I-1 : Différentes représentations des objets techniques

I-4 : Classes d'équivalence cinématique

Le schéma bloc précédent fait apparaître des groupes de pièces reliés entre eux par des fonctions cinématiques. La recherche et la communication de cette cinématique est facilitée par une schématisation mettant en valeur les mouvements au détriment des formes de pièces. Dans le sens de cette simplification, on ne représente que les ensembles ayant le même mouvement : les classes d'équivalence cinématique [3].

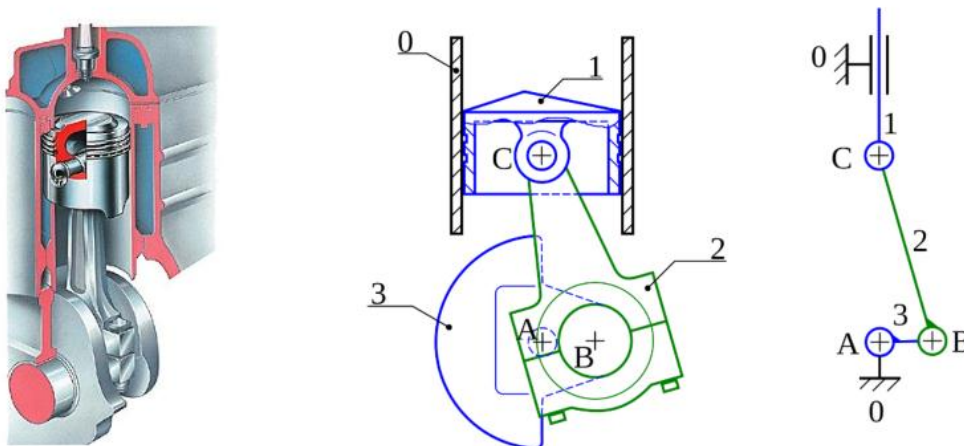


Figure I-2 : de gauche à droite : Croquis montrant un piston dessin et schéma associé

Deux pièces appartiennent à la même classe d'équivalence si elles sont en contact et si elles sont en encastrement ; c'est à dire n'ont pas de mouvement relatif (au cours du fonctionnement du système).

Pour identifier ces pièces, on peut s'aider de la nomenclature :

- ✓ Les ressorts, les éléments de guidage, roulements, paliers lisses, les joints dynamique sont entre deux pièces mobiles l'une par rapport à l'autre ;
- ✓ Les vérins, moteurs, actionneurs sont entre deux classes d'équivalence et se décomposent eux-mêmes en 2 classes d'équivalences (corps de vérin et tige de vérin, bâti moteur et axe moteur) ;
- ✓ Les vis, goupilles, clavettes, écrou participent généralement à des liaisons complètes entre pièces d'une même classe... ;
- ✓ Certains noms de pièces permettent de connaître leur mouvement :
 - Rotation continue : manivelle, vilebrequin, arbre, roue dentée...
 - Rotation alternée : levier, balancier
 - Translation : poussoir, coulisseau, tige, crémaillère, piston
 - Mouvement plan : bielle
 - Fixe : bâti, carter

Par ailleurs, un rapide coloriage sur un plan est un bon moyen de visualiser rapidement les différentes classes d'équivalence d'un système mécanique.

I-5 : Liaisons

I-5-1 : Liaisons élémentaires et liaisons simples

On définit comme surfaces élémentaires le plan, le cylindre et la sphère. Nous entendrons par liaison élémentaire une liaison définie entre deux surfaces élémentaires en contact. Ainsi, on distinguera : les liaisons appui plan, pivot glissant, rotule, linéaire rectiligne, ponctuelle, linéaire annulaire.

Les liaisons encastrement (liaison totale ou complète), pivot (formée par une association de liaisons pivot glissant et appui plan), glissière (association de liaisons élémentaires) et glissière hélicoïdale forment avec les liaisons élémentaires un ensemble de liaisons dites simples représentées conventionnellement par des symboles normalisés.

I-5-2 : Liaisons composées et liaisons équivalentes

Un certain nombre de pièces liées entre elle par des liaisons simples peuvent être utilisées pour produire un effet équivalent à une liaison simple entre deux solides. Ainsi dans un schéma cinématique, un élément ne correspond pas toujours à une pièce, mais quelquefois à un groupe de pièces : un roulement par exemple est formé au minimum de plusieurs éléments roulants et de deux bagues, mais ensemble tous ces éléments réalisent une seule des trois liaisons simples que sont les liaisons pivot, pivot glissant et rotule.

I-5-3 : Modélisation des liaisons – Contact et liaisons

La norme NF E 04 015 s'intéresse aux 6 contacts élémentaires entre les surfaces sphériques, planes et cylindriques car elles sont aisément fabricables [1,2].

6 types de contacts simples sont issus de ces surfaces :

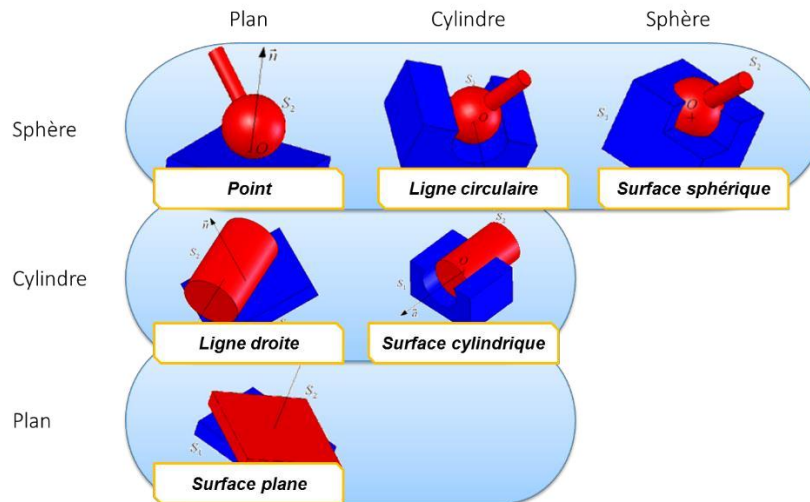


Figure I-3 : Nature des contacts

6 liaisons élémentaires sont associées à ces contacts :

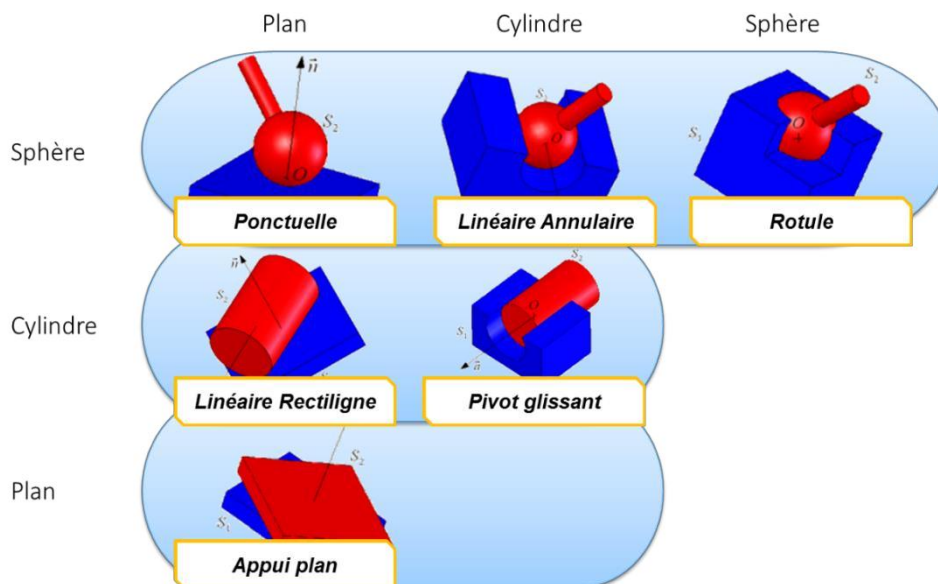


Figure I-4 : Association contacts-liaisons élémentaires

Mais ceci est insuffisant pour décrire toutes les liaisons existantes dans les systèmes.

Pour obtenir une description plus complète il est nécessaire de faire un détour par la mécanique générale. Le mouvement instantané d'un solide (indéformable) (Si) par rapport à un autre solide (Sj) peut-être décrit par le torseur cinématique $\mathfrak{S}_{i/j}$ caractérisé par **6 quantités scalaires** (éléments de réduction en un point quelconque **A** aussi appelée coordonnées pluckériennes)

$$\{\mathcal{V}_{i/j}\} : \begin{matrix} \left(\begin{array}{cc} \omega_x & v_x \\ \omega_y & v_y \\ \omega_z & v_z \end{array} \right) \\ A \quad \quad \quad (\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}) \end{matrix}$$

Si ces 6 quantités varient **de façon indépendante, le solide (Si) est dit libre par rapport à (Sj)**.

Si moins de 6 paramètres indépendants permettent de décrire le mouvement relatif de (Si) par rapport à (Sj) **alors (Si) est dit lié à (Sj)**.

Le nombre de paramètres permettant de décrire ce mouvement **est appelé degré de liberté (ddl)**.

Dans un mécanisme réel, l'interdépendance des paramètres est due à des relations de **contacts entre les pièces (Si) et (Sj)**.

En résumé, les liaisons mécaniques sont caractérisées par deux quantités mathématiques importantes qui sont :

- Le torseur cinématique associé ;
- Le torseur d'action mécanique transmissible.

Notations :

$$1- \text{Torseur cinématique} : \{\vartheta_{i/j}\}_p = \left\{ \begin{array}{c} \overline{\Gamma(i/j)} \\ \vec{V}(p \in i/j) \end{array} \right\} \quad \text{(I-1)}$$

Si $\overline{\Gamma(i/j)}$ et $\vec{V}(p \in i/j)$ sont exprimés dans la même base :

$$\{\vartheta_{i/j}\}_{(p,B)} = \begin{pmatrix} P_{ij} & \mu_{ij} \\ q_{ij} & \gamma_{ij} \\ r_{ij} & \omega_{ij} \end{pmatrix}_{(p,B)} \quad \text{(I-2)}$$

2- Torseur d'action mécanique transmissible par la liaison :

$$\{\tau_{i \rightarrow j}\}_p = \left\{ \begin{array}{c} \vec{R}_{(i \rightarrow j)} \\ \vec{M}_{p(i \rightarrow j)} \end{array} \right\} \quad \text{(I-3)}$$

Si $\vec{R}_{(i \rightarrow j)}$ et $\vec{M}_{p(i \rightarrow j)}$ sont exprimés dans la même base :

$$\{\tau_{i/j}\}_{(p,B)} = \begin{pmatrix} X_{ij} & L_{ij} \\ Y_{ij} & M_{ij} \\ Z_{ij} & N_{ij} \end{pmatrix}_{(p,B)} \quad \text{(I-4)}$$

Exemples de liaison : liaison pivot

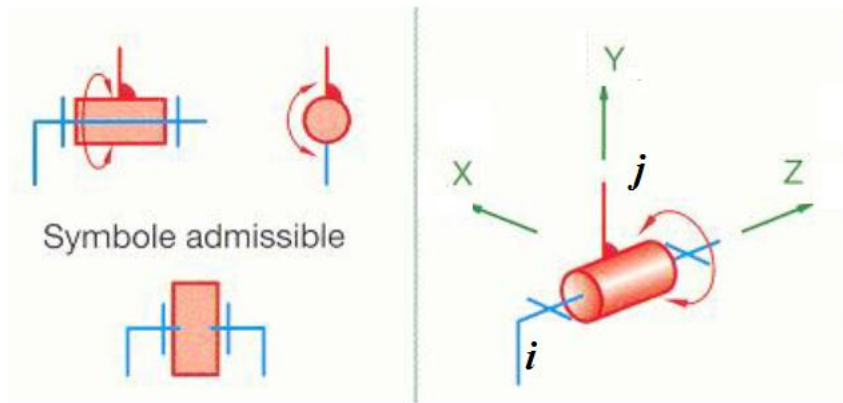


Figure I-5 : Liaison pivot

Action du solide i sur le solide j :

$$\{\vartheta_{i/j}\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \Gamma_{ij} & 0 \end{Bmatrix}_{o, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}} = \begin{cases} \vec{\omega}(i/j) = \Gamma(i/j) \cdot \vec{z} \\ \vec{V}(o \in i/j) = \vec{0} \end{cases} \quad (\text{I-5})$$

Sur les 64 combinaisons possibles pour arranger les paramètres dans le torseur cinématique, certaines sont « faciles » à réaliser techniquement par des contacts simples ou par combinaison de contacts simples : *ce sont les 10 liaisons normalisées (tableau ci-dessous).*

Type	Schémas	Torseur Cinématique	Torseur Interefforts	Type	Schémas	Torseur Cinématique	Torseur Interefforts
Pivot d'axe (A, x)		$\begin{Bmatrix} \omega_x & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_A$ $\forall M \in (A, \vec{x})$	$\begin{Bmatrix} X & 0 \\ Y & M \\ Z & N \end{Bmatrix}_A$	Appui plan de normale x		$\begin{Bmatrix} \omega_x & 0 \\ 0 & V_y \\ 0 & V_z \end{Bmatrix}_A$ $\forall A$	$\begin{Bmatrix} X & 0 \\ 0 & M \\ 0 & N \end{Bmatrix}_A$
Glissière d'axe x		$\begin{Bmatrix} 0 & V_x \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_A$ $\forall A$	$\begin{Bmatrix} 0 & L \\ Y & M \\ Z & N \end{Bmatrix}_A$	Rotule de centre A		$\begin{Bmatrix} \omega_x & 0 \\ \omega_y & 0 \\ \omega_z & 0 \end{Bmatrix}_A$	$\begin{Bmatrix} X & 0 \\ Y & 0 \\ Z & 0 \end{Bmatrix}_A$
Hélicoïdale d'axe (A, x)		$\begin{Bmatrix} \omega_x & V_x \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_A$ $\forall M \in (A, \vec{x})$ $V_x = \text{pas } x \times \omega_x$	$\begin{Bmatrix} X & L \\ Y & M \\ Z & N \end{Bmatrix}_A$ $X = \text{pas } x \times L$	Rotule à doigt d'axes (A, x) et (A, y)		$\begin{Bmatrix} \omega_x & 0 \\ \omega_y & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_A$	$\begin{Bmatrix} X & 0 \\ Y & 0 \\ Z & N \end{Bmatrix}_A$
Pivot glissant d'axe (A, x)		$\begin{Bmatrix} \omega_x & V_x \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_A$ $\forall M \in (A, \vec{x})$	$\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y & M \\ Z & N \end{Bmatrix}_A$	Linéaire rectiligne de normale x et axe y		$\begin{Bmatrix} \omega_x & 0 \\ \omega_y & V_y \\ 0 & V_z \end{Bmatrix}_A$ $\forall M \in (A, \vec{x}, \vec{y})$	$\begin{Bmatrix} X & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & N \end{Bmatrix}_A$
Linéaire annulaire centre (A, x)		$\begin{Bmatrix} \omega_x & V_x \\ \omega_y & 0 \\ \omega_z & 0 \end{Bmatrix}_A$ $\forall A$	$\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y & 0 \\ Z & 0 \end{Bmatrix}_A$	Ponctuelle de normale (A, x)		$\begin{Bmatrix} \omega_x & 0 \\ \omega_y & V_y \\ \omega_z & V_z \end{Bmatrix}_A$ $\forall M \in (A, \vec{x})$	$\begin{Bmatrix} X & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_A$

Tableau I-1 : Liaisons élémentaires

Pour réaliser un schéma cinématique plusieurs solutions numériques existent, notamment, schematrice ou schemax disponibles sur internet.

Globalement, il peut être plus rapide de faire un schéma proprement sur papier et de le scanner... Cette solution n'est donc pas à négliger.

L'identification des surfaces de contact, le recensement des mobilités possibles et le choix d'un modèle de liaison sont une phase critique de l'analyse d'un mécanisme (d'ailleurs aussi de la conception de ce mécanisme !). Cela peut être fait à partir d'une méthode en 3 étapes :

- La liaison est-elle réalisée par interposition d'un élément de contact ? par exemple roulement, clavette, cannelure...
- Sinon qu'elle est la nature des surfaces en contact ? leurs dimensions ? des « petites » mobilités (jeux) existent-elles ? sont-elles nécessaires pour le bon fonctionnement ?
- Et en dernier lieu quelles sont les mobilités restantes ? mais seulement en dernier lieu car c'est souvent trompeur !

I-6 : Nature des surfaces et modèle de liaison retenu

Un plan sur un plan peut être modélisé par un appui plan mais si les dimensions d'une des surfaces sont faibles une ponctuelle sera plus réaliste.

Si une seule dimension est faible (hauteur ou largeur par rapport à la longueur), un modèle de linéaire rectiligne sera plus adapté.

De la même façon, un contact cylindrique peut être assimilé à un contact linéique si le cylindre est de faible rayon voire une ponctuelle s'il est aussi de faible hauteur.

De manière générale, il faut considérer la dimension des formes de contact afin d'identifier le « juste » contact créé. Ceci est résumé dans la figure ci-dessous :

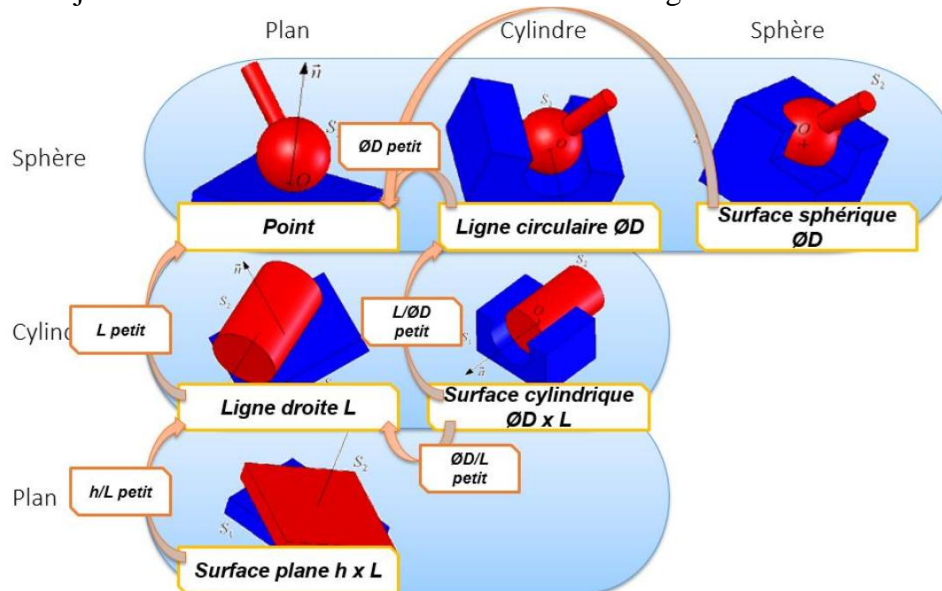


Figure I-6 : Nature de contact

I-7 : Liaisons équivalentes

I-7-1 : Liaisons en série

Prenons le cas de deux liaisons en série \mathcal{L}_1 et \mathcal{L}_2 l'idée est de trouver une liaison équivalente entre (S_1) et (S_n) .

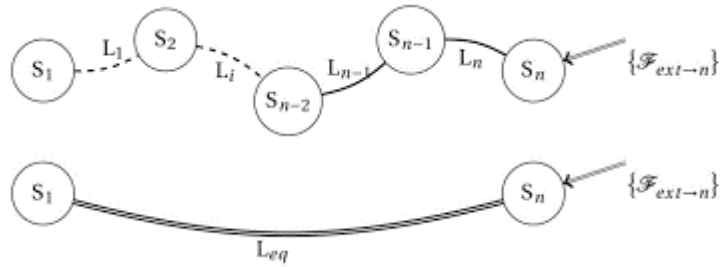
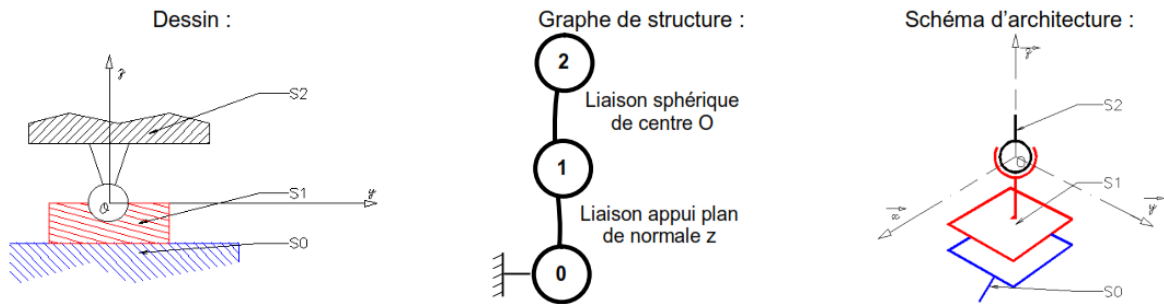


Figure I-7 : Liaisons en série

La liaison Leq est identifiée à partir de la forme de son torseur cinématique associé par la relation de composition de mouvement.

$$\boxed{\{V_{Leq}\} = \{V_{3/0}\} = \{V_{3/2}\} + \{V_{2/1}\} + \{V_{1/0}\}}$$

Exemple : patin à rotule



$$\left. \begin{aligned} \{V_{2/1}\} &= \begin{Bmatrix} \omega_{x,2/1} & 0 \\ \omega_{y,2/1} & 0 \\ \omega_{z,2/1} & 0 \end{Bmatrix}_{(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})} \\ \text{et} \\ \{V_{1/0}\} &= \begin{Bmatrix} 0 & v_{x,O \in 1/0} \\ 0 & v_{y,O \in 1/0} \\ \omega_{z,1/0} & 0 \end{Bmatrix}_{(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \{V_{2/0}\} = \begin{Bmatrix} \omega_{x,2/1} & v_{x,O \in 1/0} \\ \omega_{y,2/1} & v_{y,O \in 1/0} \\ \omega_{z,2/1} + \omega_{z,1/0} & 0 \end{Bmatrix}_{(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})} \Rightarrow \text{équivalent à une liaison sphère-plan de normale } \vec{z}$$

NB : Technologiquement parlant, il est donc préférable de réaliser une liaison ponctuelle par mise en série d'une liaison appui plan et d'une liaison rotule pour limiter la pression de contact. En effet, on passe d'un contact ponctuel, où la pression est infinie ($F=p.S$), à un contact surfacique, où la pression devient admissible pour les matériaux.

I-7-2 : Liaisons en parallèle

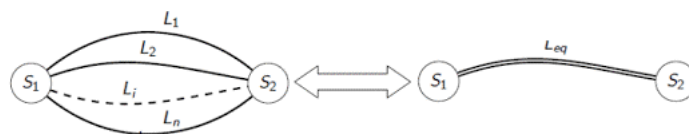


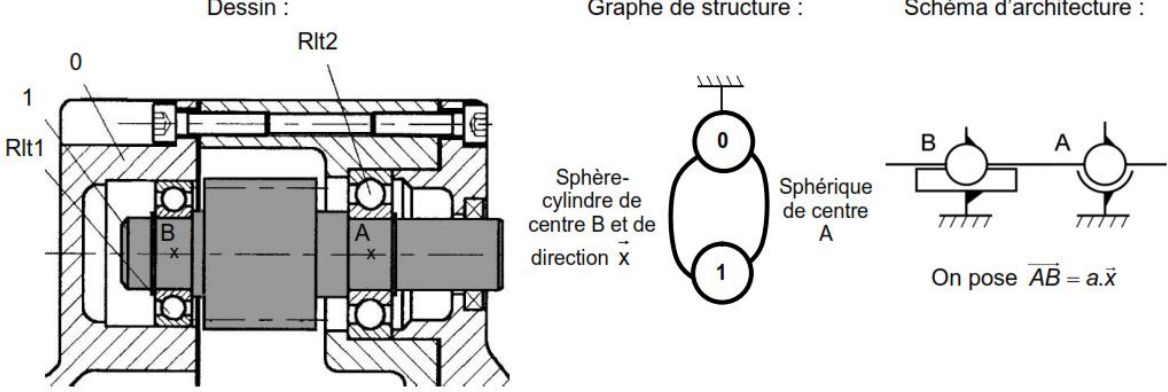
Figure I-8 : Liaisons en parallèle

La liaison Leq est identifiée à partir de forme de son torseur cinématique associé :

$$\boxed{\{V_{Leq}\} = \{V_{1/0}\} = \{V_{1/0}^{LA}\} = \{V_{1/0}^{LB}\} = \{V_{1/0}^{LC}\}}$$

La compatibilité cinématique des n liaisons en parallèle avec la liaison équivalente, s'exprime par une identité des composantes de tous ces torseurs réduits au même point.

Exemple : Liaison entre un arbre 1 et un bâti 0 réalisée par l'association de deux roulements.



$$\{V_{1/0}^{LB}\} = \begin{Bmatrix} \omega_{x,1/0}^{LB} & v_{x,B \in 1/0}^{LB} \\ \omega_{y,1/0}^{LB} & 0 \\ \omega_{z,1/0}^{LB} & 0 \end{Bmatrix}_{(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})} \quad \text{et} \quad \{V_{1/0}^{LA}\} = \begin{Bmatrix} \omega_{x,1/0}^{LA} & 0 \\ \omega_{y,1/0}^{LA} & 0 \\ \omega_{z,1/0}^{LA} & 0 \end{Bmatrix}_{(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})} = \begin{Bmatrix} \omega_{x,1/0}^{LA} & 0 \\ \omega_{y,1/0}^{LA} & a \cdot \omega_{z,1/0}^{LA} \\ \omega_{z,1/0}^{LA} & -a \cdot \omega_{y,1/0}^{LA} \end{Bmatrix}_{(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})}$$

Car le changement de point (transfert au point B) pour la liaison en A donne :

$$\overline{V}_{B \in 1/0}^{LA} = \overline{V}_{A \in 1/0}^{LA} + \overline{BA} \wedge \Omega_{1/0}^{LA} = \vec{0} + -a \cdot \vec{x} \wedge (\omega_{x,1/0}^{LA} \cdot \vec{x} + \omega_{y,1/0}^{LA} \cdot \vec{y} + \omega_{z,1/0}^{LA} \cdot \vec{z}) = -a \cdot \omega_{y,1/0}^{LA} \cdot \vec{z} + a \cdot \omega_{z,1/0}^{LA} \cdot \vec{y}$$

Or, comme les liaisons sont en parallèle : $\{V_{Leq}\} = \{V_{1/0}\} = \{V_{1/0}^{LB}\} = \{V_{1/0}^{LA}\}$

donc : $\{V_{Leq}\} = \{V_{1/0}\} = \begin{Bmatrix} \omega_{x,1/0}^{LB} & v_{x,B \in 1/0}^{LB} \\ \omega_{y,1/0}^{LB} & 0 \\ \omega_{z,1/0}^{LB} & 0 \end{Bmatrix}_{(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})} = \begin{Bmatrix} \omega_{x,1/0}^{LA} & 0 \\ \omega_{y,1/0}^{LA} & a \cdot \omega_{z,1/0}^{LA} \\ \omega_{z,1/0}^{LA} & -a \cdot \omega_{y,1/0}^{LA} \end{Bmatrix}_{(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})}$

$$\begin{cases} \omega_{x,1/0}^{LB} = \omega_{x,1/0}^{LA} \\ \omega_{y,1/0}^{LB} = \omega_{y,1/0}^{LA} \\ \omega_{z,1/0}^{LB} = \omega_{z,1/0}^{LA} \\ v_{x,B \in 1/0}^{LB} = 0 \\ 0 = a \cdot \omega_{z,1/0}^{LA} \\ 0 = -a \cdot \omega_{y,1/0}^{LA} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \omega_{x,1/0}^{LB} = \omega_{x,1/0}^{LA} \\ \omega_{y,1/0}^{LB} = \omega_{y,1/0}^{LA} = 0 \\ \omega_{z,1/0}^{LB} = \omega_{z,1/0}^{LA} = 0 \\ v_{x,B \in 1/0}^{LB} = 0 \end{cases} \Rightarrow \{V_{Leq}\} = \begin{Bmatrix} \omega_{x,1/0} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})} \Rightarrow \text{équivalent à une liaison pivot d'axe } (B, \vec{x})$$

D'une façon générale deux approches peuvent être utilisé pour trouver les liaisons équivalentes à savoir l'approche cinématique et l'approche statique.

Cas des liaisons en série.

a) Approche cinématique :

On cherche à caractériser ici le mouvement de S3 par rapport à S1 par son torseur cinématique associé.

La loi de composition de mouvement donne :

$$\{\vartheta_{S3/S1}\} = \{\vartheta_{eq}\} = \{\vartheta_{S1/S2}\} + \{\vartheta_{S2/S3}\} \tag{I-6}$$

b) Approche statique :

En considérant l'équilibre de la chaîne on montre que :

$$\{\tau_{S1 \rightarrow S3}\} = \{\tau_{eq}\} = \{\tau_{S1 \rightarrow S2}\} = \{\tau_{S2 \rightarrow S3}\} \quad (\text{I-7})$$

Cas des liaisons en parallèle.

a) Approche cinématique :

Le torseur cinématique équivalent se déduit à partir de l'égalité des torseurs cinématiques :

$$\{\vartheta_{S3/S1}\} = \{\vartheta_{eq}\} = \{\vartheta_{S1/S2}\} = \{\vartheta_{S2/S3}\} \quad (\text{I-8})$$

b) Approche statique :

C'est la somme des torseurs d'action mécanique transmissible par chacune des liaisons :

$$\{\tau_{S1 \rightarrow S3}\} = \{\tau_{eq}\} = \{\tau_{S1 \rightarrow S2}\} + \{\tau_{S2 \rightarrow S3}\} \quad (\text{I-9})$$

La recherche des liaisons équivalentes permet la réduction du graphe des liaisons. Ce dernier ainsi réduit est appelé graphe de liaisons minimal.

Le but dans ce travail est de simplifier le modèle que nous sommes en train d'étudier.

I-8 : Couples cinématiques et schémas cinématiques

Un couple cinématique est un ensemble de deux éléments (ou pièces) mobiles en contact. Parallèlement aux liaisons dites simples, on distingue les couples cylindriques, sphériques, plans, annulaires.

Une chaîne cinématique est un ensemble de pièces en contact l'une avec l'autre. Pour tout système mécanique, le bâti est l'ensemble des pièces qui forment un système rigide et immobile.

Chaînes élémentaires, chaînes composées : une chaîne cinématique est dite élémentaire lorsque chacun de ses éléments ne forme que deux couples cinématiques au maximum avec les autres éléments de la chaîne, ou composée s'il existe des éléments formant plus de deux couples cinématiques avec d'autres éléments.

Chaînes ouvertes et chaînes fermées : dans une chaîne cinématique fermée, chaque pièce est liée au moins à deux autres pièces ; dans une chaîne cinématique ouverte un certain nombre d'éléments possèdent moins de deux liaisons avec les pièces voisines.

On appelle nombre de cycles (ou nombre cyclomatique), le nombre de chaînes cinématiques fermées nécessaires pour décrire un graphe.

I-9 : Graphe des contacts

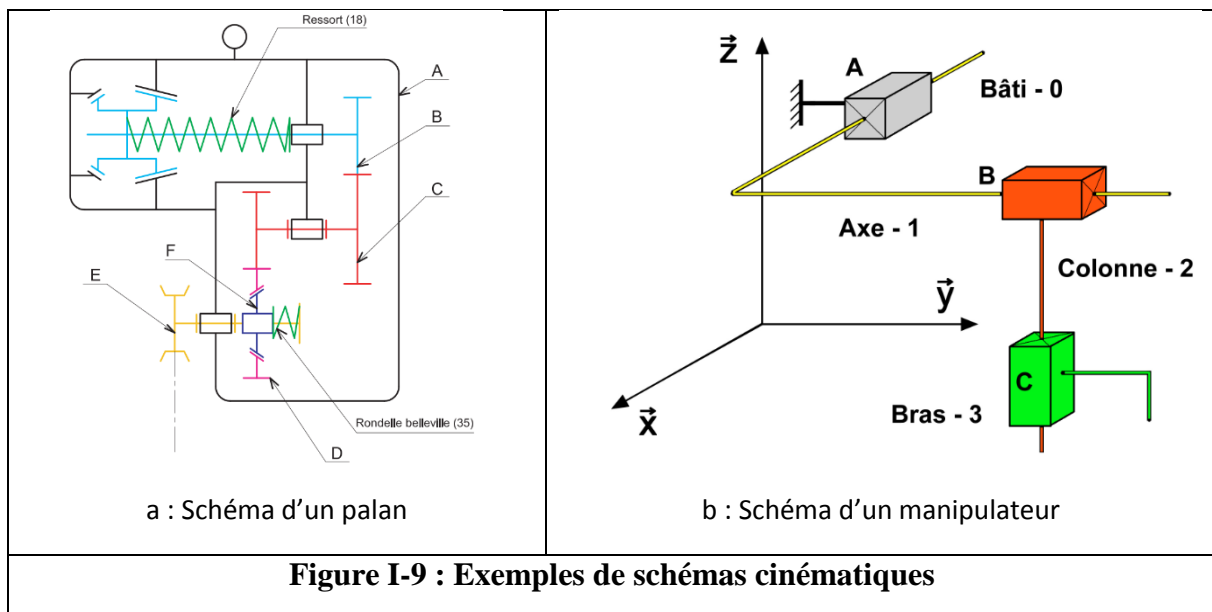
Ces modèles liaisons permettront de tracer le graphe des contacts. Pour cela chaque classe d'équivalence est représentée par un sommet dans un graphe. Chaque contact entre deux classes d'équivalence est représenté par un lien entre les deux sommets correspondants. Dans un graphe des contacts il peut y avoir plusieurs liens entre deux sommets, donc plusieurs contacts entre deux classes d'équivalence cinématique. Les contacts sont nommés suivants les 6 liaisons élémentaires existantes : ponctuelle, linéaire annulaire, rotule, linéaire rectiligne, pivot glissant et appui plan. Si la liaison équivalente n'est pas une liaison normalisée on pourra indiquer le torseur cinématique correspondant, ou la combinaison en parallèle ou en série de liaisons normalisées équivalente.

I-10 : Schéma cinématique niveau architectural

Le schéma cinématique niveau architectural ou schéma d'architecture est la traduction schématisée du graphe des contacts entre classes d'équivalence. Chaque couple de surfaces de contacts est traduit par une liaison. Il peut donc exister plusieurs liaisons entre chaque classes d'équivalence. Il permet de conserver une information technique sur l'architecture de chaque liaison entre classe d'équivalence. En cela, il est un intermédiaire essentiel entre l'analyse technique et l'analyse cinématique d'un mécanisme.

Méthodologie :

- Tracer l'épure du schéma : repère, axes, centres de liaison ;
- Placer les différentes liaisons correctement orientées ;
- Relier les liaisons entre elles pour compléter les classes d'équivalence ;
- C'est un exercice de communication technique : la disposition des liaisons doit privilégier la lisibilité par rapport à la réalisation technique des liaisons et des pièces.



I-11 : Aspects cinématiques des contacts : Notion de mobilité et d'hyperstatisme

Le mouvement instantané d'un solide (S_i) par rapport à un solide (S_j) peut être décrit à l'aide du torseur cinématique $\{V_{i/j}\}$ caractérisé par 6 quantités scalaires. Si ces 6 quantités scalaires sont indépendantes alors le mouvement est sans contrainte. Si ces 6 quantités scalaires sont dépendantes les unes des autres, le mouvement est contraint : le solide (S_i) est lié à (S_j).

Pour une liaison ponctuelle, la vitesse relative est contenue dans le plan tangent commun de normale \vec{n} . Cela impose $\vec{V} (o \in S_2/S_1) \cdot \vec{n} = 0$. Le contact ponctuel impose donc une seule relation linéaire homogène entre les six composantes du torseur cinématique.

Si on impose entre deux solides k points de contacts, on peut écrire k relations de type $\vec{V} (o \in S_2/S_1) \cdot \vec{n} = 0$. Cet ensemble de relation peut se mettre sous forme matricielle :

Une ligne par contact ponctuel

$$\begin{bmatrix} \lambda_1 & \mu_1 & \nu_1 & \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \lambda_k & \mu_k & \nu_k & \alpha_k & \beta_k & \gamma_k \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \\ V_{Ax} \\ V_{Ay} \\ V_{Az} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Coordonnées des points de contact
Direction des normales au contact

(I-10)

Cette matrice a un rang maximal de 6

Si $r = 6$, la seule solution est que le torseur cinématique soit nul, c'est la liaison fixe

Si $r < 6$, l'ensemble des torseurs cinématique solutions de l'équation doivent être de dimension $6-r$: les k contacts réalisent une liaison de degré de mobilité $m = 6-r$

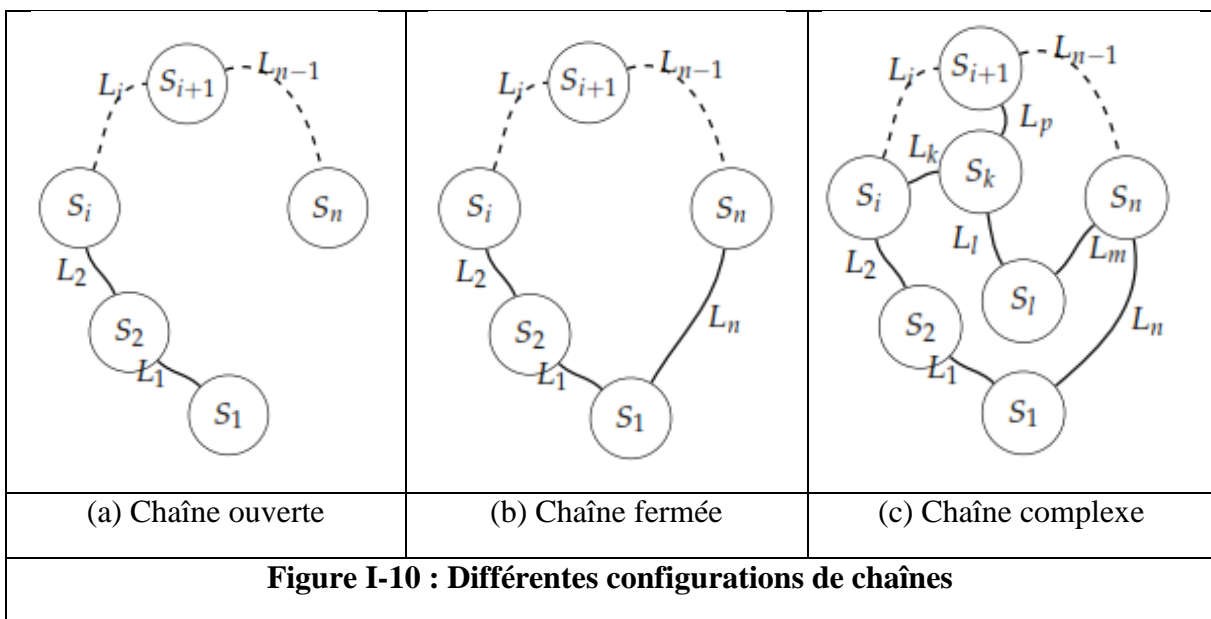
Si $k = r$, les k contacts sont indépendants

Si $k > r$ les contacts ne sont pas indépendants, certains contacts sont dans des positions particulières par rapport aux autres. *C'est un positionnement hyperstatique* et la quantité $h = k - r$ est appelé **degré d'hyperstatisme**.

I-12 : Analyse du graphe des contacts

L'étude d'une liaison équivalente consiste à analyser la relation entre la somme des torseurs cinématiques et le torseur nul.

Une fois le graphe de liaisons tracé, on analyse sa forme et qui donne naissance à certaines formes classiques de représentation à savoir chaînes fermées, les chaînes ouvertes et les chaînes complexes [4].



I-13 : Classification des chaînes cinématiques

I-13-1 : chaînes de solides

C'est un ensemble de solides, que nous considérons indéformables, en liaison les uns avec les autres.

I-13-2 : Représentation d'une chaîne de solides

Pour pouvoir représenter une chaîne de solides nous allons utiliser les graphes de liaisons constitués de sommets (exemple S_1 et S_2) en liaison les uns avec les autres et modélisé avec des arcs.

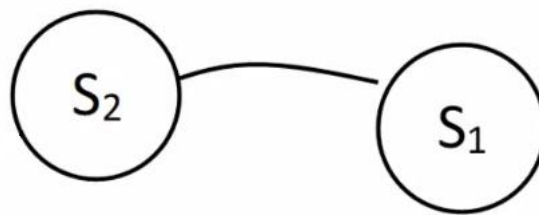


Figure I-11 : Graphe de liaisons

Un graphe de liaisons c'est un ensemble de sommets et arcs qu'on ne doit pas confondre avec le schéma cinématique. Ce dernier reprend essentiellement la représentation schématique des liaisons normalisées.

I-13-3 : différentes structures

Une fois le graphe de liaisons tracé, on analyse sa forme et qui donne naissance à certaines formes classiques de représentation à savoir les chaînes fermées, les chaînes ouvertes et les chaînes complexes.

a): Chaîne ouverte :

Une chaîne de solides ouverte est une chaîne où les solides extrêmes sont différents.

Exemple type : un bras robotisé.

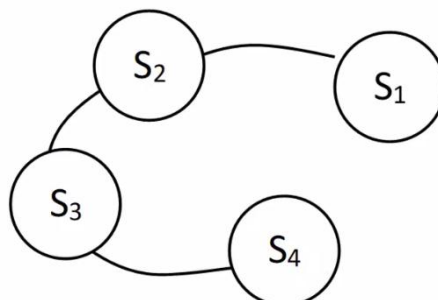


Figure I-12 : chaîne ouverte (liaisons en série)

b) : Chaîne fermée :

Une chaîne de solides fermée est chaîne où les deux solides extrêmes sont reliés par une liaison. On a alors un cycle.

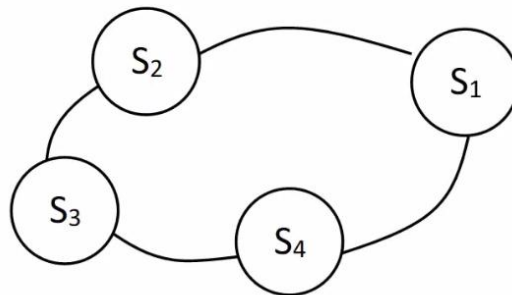


Figure I-13: Chaîne fermée (forme une boucle)

c) : Chaîne complexe :

Une chaîne complexe est composée de plusieurs chaînes ouvertes et fermées imbriquées.

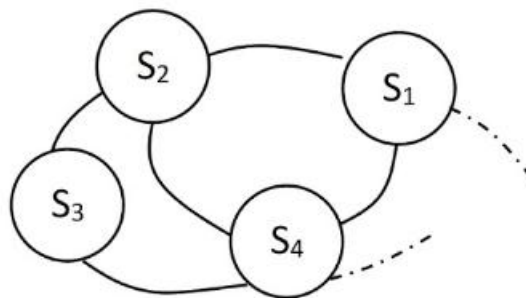


Figure I-14: Chaîne complexe qui présente plusieurs boucles (ou cycles)

I-14 : Détermination d'une loi Entrée-Sortie

Une loi « entrée-sortie » est la relation entre les paramètres de situation (position, orientation) de la pièce d'entrée et les paramètres de situation de la pièce de sortie du mécanisme ou de leurs dérivés [5].

Sur un schéma cinématique minimal on commence par affecter un paramètre angulaire à chaque degré de liberté en rotation ($\alpha, \beta, \gamma, \dots$) et un paramètre de longueur pour les degrés de liberté en translation (λ, μ, \dots).

Et faire par la suite une fermeture géométrique liant les différents paramètres de position :

$$\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CD} + \dots + \overrightarrow{PA} = \vec{0}$$

Cette équation vectorielle va nous donner trois équations scalaires pour un mécanisme spatial ou deux équations scalaires pour un mécanisme plan.

I-15 : Etude cinématique d'une chaîne complexe

I-15-1 : Introduction

La théorie des mécanismes s'appuie sur l'étude des chaînes fermées de solides et a pour buts :

- L'analyse de la structure d'un mécanisme, afin d'émettre un avis sur la pertinence des solutions adoptées pour remplir la fonction mécanique souhaitée.
- La détermination de la loi entrée-sortie.
- L'analyse de la transmission d'énergie en vue du dimensionnement des organes mécaniques.
- Solides indéformables
- Graphe des liaisons, ~des contacts
- Chaîne ouverte, ~fermée
- Mobilité, degré de liberté
- Les liaisons usuelles :
 - Point de vue cinématique :
 - Torseur cinématique associé
 - Notions de paramétrage géométrique et cinématique
 - Point de vue dynamique :
 - Torseur des actions mécaniques transmissibles dans le cas des liaisons parfaites
 - Schéma cinématique
 - Lois de composition des mouvements
 - Principe fondamental de la statique.

I-15-2 : Approche cinématique

I-15-2-1 : Nombre de cycles

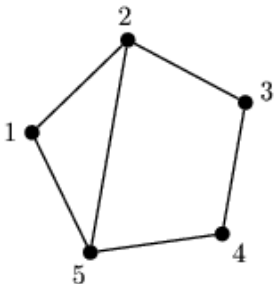
Soit le graphe des liaisons connu pour un mécanisme donné, ou le graphe proposé pour un mécanisme à concevoir.

- Soit N_p le nombre de sommets du graphe (le nombre de pièces)
- Soit N_L le nombre d'arcs du graphe (le nombre de liaisons)

La théorie des mécanismes s'applique à l'études des chaînes fermées de solides. Le premier souci est donc de les dénombrer.

On appelle nombre de cycles le nombre de chaînes fermées indépendantes nécessaires pour décrire un graphe.

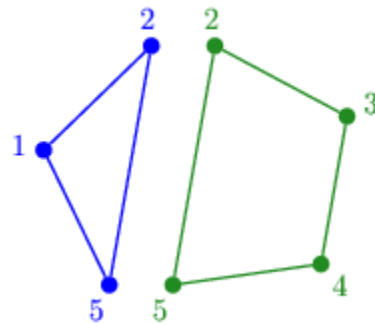
Ce nombre est noté γ et est calculé par la formule : $\gamma = 1 + N_L - N_p$ (I-10)

<p>Soit un mécanisme dont le graphe des liaisons est donné ci-contre :</p> <p>$N_L = 6$ et $N_p = 5$</p> <p>donc $\gamma = 2$</p>	
--	--

Ces deux chaînes fermées indépendantes sont par exemple :

1-2-5-1 et 2-3-4-5-2

Il existe une troisième chaîne fermée, 1-2-3-4-5-1, mais qui se déduit des deux précédentes



I-15-2-2 : Détermination du nombre d'équations

Une fois les chaînes fermées indépendantes dénombrées, la résolution du problème se poursuit en appliquant la loi de composition des mouvements sur chacune de ces chaînes, en partant de la constatation triviale que :

$$\forall i, \vartheta(i/i) = 0$$

Il y a donc autant d'équations tensorielles indépendantes que de chaînes fermées indépendantes.

Soit E_c le nombre d'équations scalaires issues de ces équations de fermeture cinématique :

$$E_c = 6 \gamma \quad (\text{I-11})$$

En reprenant l'exemple précédent, les deux équations tensorielles indépendantes à considérer sont, par exemple.

	$\mathcal{V}(1/2) + \mathcal{V}(2/5) + \mathcal{V}(5/1) = 0$ $\mathcal{V}(2/3) + \mathcal{V}(3/4) + \mathcal{V}(4/5) + \mathcal{V}(5/2) = 0$ <p>Ce qui donne 12 équations scalaires.</p>
--	--

Remarque : Si l'on somme les deux équations précédentes, on obtient

$$\mathcal{V}(1/2) + \mathcal{V}(2/3) + \mathcal{V}(3/4) + \mathcal{V}(4/5) + \mathcal{V}(5/1) = 0$$

Ce qui correspond bien à la description de la troisième chaîne fermée trouvée, 1-2-3-4-5-1

I-15-2-3: Détermination du nombre d'inconnues

Soit I_c le nombre d'inconnues cinématiques du problème. Ce nombre se détermine en sommant les degrés de liberté de chacune des N_L liaisons.

Le nombre d'inconnues dépend de la nature des modèles adoptés pour les liaisons.

I-15-2-4 : Indice de mobilité

Soit à résoudre le système de E_c équations obtenues à I_c inconnues dénombrées. Ce système est un système linéaire homogène, qui peut être écrit sous la forme matricielle suivante :

$$\begin{array}{c}
 \underbrace{\hspace{10em}}_{I_c \text{ colonnes}} \\
 \left. \begin{array}{c} \\ \\ \\ \end{array} \right\} E_c \text{ lignes} \left[\begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right] \begin{array}{c} \\ \\ \\ \end{array} \Bigg]_{I_c} = \begin{array}{c} 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \end{array}
 \end{array}$$

On définit l'indice de mobilité comme étant le nombre « $I_c - E_c$ »

L'indice de mobilité est un entier relatif. Il se détermine sans écrire le système d'équations. Il sert de base à la réflexion menée lors d'une approche globale.

I-15-2-5 : Degré de mobilité d'un mécanisme

La résolution du système d'équations précédent prend en compte son rang, noté r_c .

Dans le cas où $r_c = I_c$, la seule solution est la nullité de toutes les inconnues, donc de tous les paramètres cinématiques. Le mécanisme définit alors une structure rigide, aucun mouvement n'est possible.

Dans le cas contraire, supposons connu le rang du système et les équations disposées ainsi :

$$\begin{array}{c}
 \underbrace{\hspace{10em}}_{I_c} \\
 \left. \begin{array}{c} \\ \\ \\ \end{array} \right\} E_c \left[\begin{array}{c} \underbrace{\hspace{4em}}_{r_c} \\ \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right] \begin{array}{c} \\ \\ \\ \end{array} \Bigg]_{I_c} = \begin{array}{c} 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \end{array}
 \end{array}$$

On définit le degré de mobilité : $\mathbf{m} = I_c - r_c$ (I-12)

Le nombre définissant le degré de mobilité est un entier naturel, donc positif ou nul.

$$\mathbf{m} \geq 0, \text{ en effet } r_c \leq \min(I_c, E_c)$$

Le degré de mobilité m représente le nombre d'inconnues qu'il faut passer dans le second membre.

Toutes les autres inconnues du problème pourront être exprimées en fonction de ces m paramètres.

Dans le cas d'un mécanisme, ces m inconnues ne sont pas choisies au hasard.

Elles correspondent au moins aux mouvements d'entrée du mécanisme. C'est ainsi que l'on obtient la loi entrée-sortie du mécanisme.

I-15-2-6 : Degré de mobilité d'un mécanisme

Le degré de mobilité m caractérise le nombre de mouvements indépendants d'un mécanisme.

-un mécanisme est immobile lorsque $m=0$;

-un système est mobile de mobilité m lorsque $m > 0$;

Attention : m ne peut être négatif.

On définit aussi de manière complémentaire, les notions de mobilité utile m_u et mobilité interne m_i .

I-15-2-6-1 : Mobilité utile et mobilité interne

Le degré de mobilité d'un mécanisme définit le nombre de mouvements indépendants qu'il est possible de fixer arbitrairement. Ces mouvements comprennent bien évidemment le(s) mouvement(s) d'entrée.

On appelle mobilité utile, notée m_u , le nombre de mouvements indépendants faisant intervenir au moins un des paramètres d'entrée-sortie du mécanisme.

« Mobilité utile m_u : c'est la ou les mobilités souhaitées du mécanisme ».

On appelle mobilité interne, notée m_i , le nombre de mouvements indépendants ne faisant intervenir aucun des paramètres d'entrée-sortie.

« Mobilité interne m_i : c'est une mobilité qui caractérise le mouvement d'une pièce indépendamment des autres pièces (rotation d'une pièce sur elle-même) ».

On a bien évidemment

$$\mathbf{m} = \mathbf{m}_u + \mathbf{m}_i \quad (\text{I-13})$$

NB : Mobilités utiles et internes relèvent de l'interprétation technologique que l'on donne aux différents mouvements possibles trouvés au sein du mécanisme. La théorie des mécanismes seule ne permet pas de faire de distinction.

I-15-2-7 : Degré de statisme d'un mécanisme

Soit le nombre $\mathbf{h} = \mathbf{E}_c - \mathbf{r}_c$: Ce nombre est appelé degré de statisme du mécanisme.

Le nombre définissant le degré de statisme est un entier naturel :

$$\mathbf{h} \geq 0, \text{ en effet } \mathbf{r}_c \leq \min(\mathbf{I}_c, \mathbf{E}_c)$$

Il exprime le nombre d'équations ne servant pas à la résolution. (Le plus souvent de la forme $0 = 0$).

Il définit le nombre de degrés de liberté absents pour garantir un montage et un fonctionnement sans contrainte du mécanisme.

Finalement, la forme du système d'équation peut être présentée de la manière suivante :

$$\begin{array}{c}
 \underbrace{\hspace{10em}}_{I_c \text{ colonnes}} \\
 \left\{ \begin{array}{l} E_c \text{ lignes} \\ \end{array} \right. \left[\begin{array}{cc} \underbrace{\hspace{4em}}_{r_c} & \underbrace{\hspace{4em}}_m \\ \underbrace{\hspace{1em}}_h & \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} I_c \\ \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \end{array} \right]
 \end{array}$$

Approche globale

Sachant que : $\begin{cases} \mathbf{m} = \mathbf{Ic} - \mathbf{rc} \\ \mathbf{h} = \mathbf{Ec} - \mathbf{rc} \end{cases}$ On en déduit $\mathbf{m} - \mathbf{h} = \mathbf{Ic} - \mathbf{Ec}$ (I-14)

L'indice de mobilité d'un mécanisme est égal à la différence entre les degrés de mobilité et de statisme.

Le degré d'hyperstaticité \mathbf{h} d'un mécanisme caractérise la surabondance des degrés de liaisons de ce mécanisme. Ainsi une table avec quatre pieds est hyperstatique de degré $\mathbf{h=1}$ car trois pieds suffisent pour la poser sur le sol.

➤ –Un système est dit isostatique ($\mathbf{h=0}$) s'il est possible de déterminer la totalité des inconnues de liaison en appliquant le principe fondamental de la statique à chacune des pièces du mécanisme.

➤ –On dit qu'un système est hyperstatique ($\mathbf{h>0}$) si toutes les inconnues de liaison ne sont pas déterminables. Chaque inconnue non déterminable par le P.F.S est un degré d'hyperstaticité.

I-16 : Approche statique [6]

Soit le graphe des liaisons connu pour un mécanisme donné, ou le graphe proposé pour un mécanisme à concevoir.

Soit $\mathbf{N_p}$ le nombre de sommets du graphe (le nombre de pièces)

Soit $\mathbf{N_L}$ le nombre d'arcs du graphe (le nombre de liaisons)

I-16-1 : Détermination du nombre d'équations

Une étude dynamique systématique est menée en étudiant le mouvement ou l'équilibre de chacune des pièces du mécanisme.

Le mouvement ou l'équilibre étant nécessairement relatif à une de ces pièces, prise comme référentiel, on dénombre alors $\mathbf{N_p-1}$ solides à étudier.

En général, le bâti est considéré comme un référentiel galiléen satisfaisant, et tous les mouvements à considérer pour cette recherche exhaustive sont relatifs à celui-ci.

Soit $\mathbf{E_s}$ le nombre d'équations scalaires obtenues après une étude exhaustive :

$$\mathbf{E_s} = \mathbf{6 (N_p-1)} \quad \text{(I-15)}$$

I-16-2 : Détermination du nombre d'inconnues

Soit I_s le nombre d'inconnues d'actions mécaniques transmissibles par les liaisons du problème.

Ce nombre se détermine en sommant les nombres de paramètres d'actions mécaniques transmissibles par chacune des N_L liaisons.

Le nombre d'inconnues dépend de la nature des modèles adoptés pour les liaisons.

Avec l'hypothèse de liaisons parfaites, il y a dualité entre le torseur des actions mécaniques transmissibles par une liaison et son torseur cinématique :

$$\forall t, \mathcal{V}(i/j) \otimes \mathcal{F}(j \rightarrow i) = \mathcal{O}$$

Pour une liaison donnée à k inconnues cinématiques, on a donc $6-k$ inconnues d'actions mécaniques transmissibles.

I-16-3 : Indice de mobilité

Soit à résoudre le système de E_s équations obtenues à I_s inconnues dénombrées. Ce système est un système linéaire avec second membre, qui peut être écrit sous la forme matricielle suivante :

$$\left[\begin{array}{c} \text{Es lignes} \\ \left[\begin{array}{c} \text{Is colonnes} \\ \text{Matrix} \end{array} \right] \right] \begin{array}{c} \text{Is} \\ \left[\begin{array}{c} \text{Second} \\ \text{membre} \end{array} \right] \end{array} = \begin{array}{c} \text{Second} \\ \text{membre} \end{array}$$

Le second membre comporte :

- les composantes d'actions mécaniques extérieures autre que les inconnues de liaison; - Poids - Couple ou effort, moteur ou résistant - actions externes ou internes dues à des éléments déformables - ...
- les composantes dynamiques.

On constate les égalités suivantes :

$$\mathbf{I}_c - \mathbf{E}_c = (6N_L - \mathbf{I}_c) - 6(N_L - N_p + 1) = 6(N_p - 1) - \mathbf{I}_s = \mathbf{E}_s - \mathbf{I}_s \quad (\text{I-16})$$

On définit ainsi l'indice de mobilité comme étant également le nombre $\mathbf{E}_s - \mathbf{I}_s$

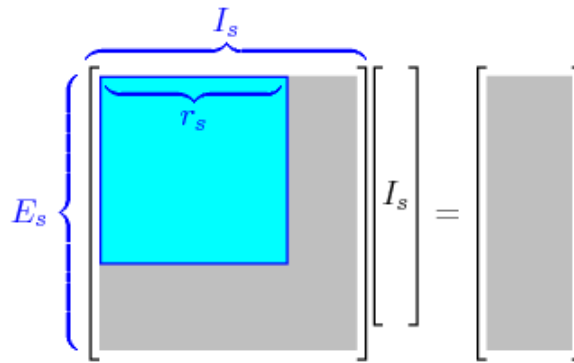
I-16-4 : Degré d'hyperstatisme

La résolution du système d'équations précédent prend en compte son rang, noté r_s .

Dans le cas où $r_s = \mathbf{I}_s$, la seule solution du système homogène associé est la nullité de toutes les inconnues, donc de tous les paramètres d'actions mécaniques transmissibles par les liaisons. Cette constatation induit les deux définitions suivantes :

- Un mécanisme est dit isostatique si, en l'absence d'actions mécaniques extérieures, toutes les inconnues d'actions mécaniques transmissibles par les liaisons sont nulles.
- Un mécanisme est dit hyperstatique si, en l'absence d'actions mécaniques extérieures, il existe des inconnues d'actions mécaniques transmissibles par les liaisons non nulles, dans les faits indéterminés.

Dans le cas contraire, supposons connu le rang du système et les équations disposées ainsi :



On définit le degré de statisme \mathbf{h} par :

$$\mathbf{h} = \mathbf{I}_s - \mathbf{r}_s \quad (\text{I-17})$$

Le nombre définissant le degré de statisme est un entier naturel,

$$\mathbf{h} \geq 0, \text{ en effet } \mathbf{r}_s \leq \min(\mathbf{I}_s, \mathbf{E}_s)$$

Le degré de statisme \mathbf{h} représente le nombre d'inconnues qu'il faut passer dans le second membre.

Ce sont des inconnues d'actions mécaniques de liaison ne pouvant pas être déterminées par la seule théorie des mécanismes.

Un mécanisme hyperstatique est plus rigide au sens de la résistance des matériaux. Quand cela est souhaité, les contraintes induites ont un coût, au sens financier du terme.

I-16-5 : Degré de mobilité

Soit le nombre \mathbf{m} défini par : $\mathbf{m} = \mathbf{E}_s - \mathbf{r}_s$ (I-18)

Ce nombre est appelé degré de mobilité du mécanisme.

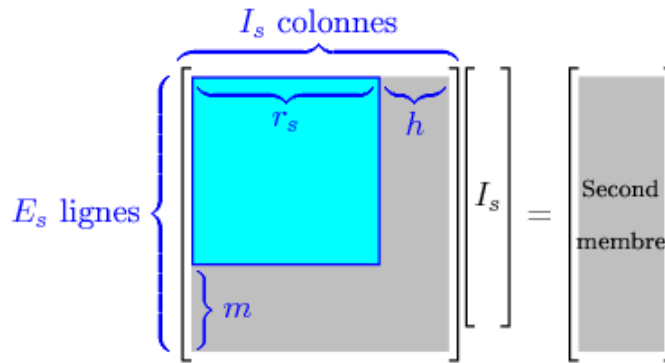
Le nombre définissant le degré de mobilité est un entier naturel, donc positif ou nul.

$$\mathbf{m} \geq 0, \text{ en effet } \mathbf{r}_s \leq \min(\mathbf{I}_s, \mathbf{E}_s)$$

Il exprime le nombre d'équations ne servant pas à la détermination des actions mécaniques de liaison, de la forme $0 = 0$ pour l'équation homogène associée.

De par la dualité entre les deux approches, on peut formuler la proposition suivante : Là où n'existe aucune composante d'action mécanique transmissible apparaît une possibilité de mouvement.

Finalement, la forme du système d'équation peut être présentée de la manière suivante :



I-17 : Comparaison des approches

	Approche cinématique	Approche statique
Nombre de pièces d'un mécanisme	N_p	
Nombre de liaisons d'un mécanisme	N_L	
Nombre de cycles	$\gamma = N_L - N_p + 1$	
Nombre d'équations	$E_c = 6 \mu$	$E_s = 6 (N_p - 1)$
Nombre d'inconnues	I_c	I_s
Indice de mobilité	$I_c - E_c$	$E_s - I_s$
Degré de mobilité	$m = I_c - r_c$	$m = E_s - r_s$
Degré de statisme	$h = E_c - r_c$	$h = I_s - r_s$
Approche globale	$I_c - E_c = m - h$	$E_s - I_s = m - h$

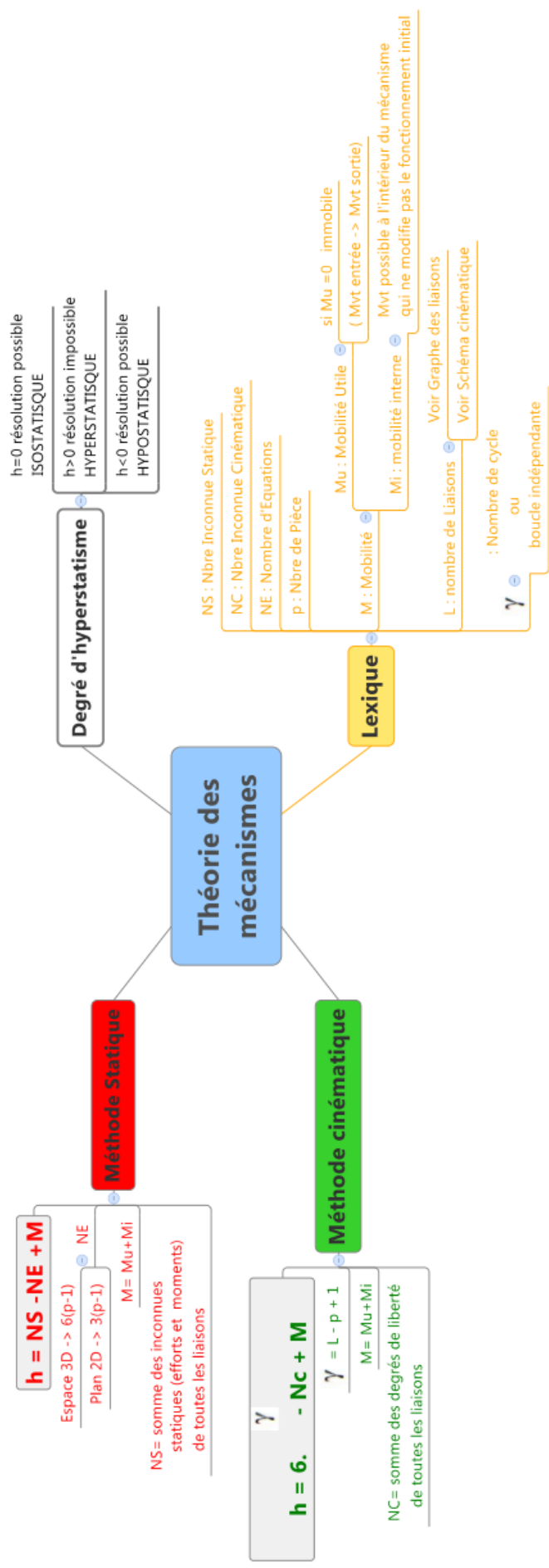
Toute étude commence par une approche globale. En effet, il est inutile de se lancer dans des calculs qui deviennent très rapidement complexes pour déboucher sur des conclusions triviales. Par ailleurs, il n'est pas inutile d'avoir une idée préliminaire de ce vers quoi on tend.

Pour une recherche des degrés de mobilité et de statisme, l'approche cinématique est à privilégier, et ce pour deux raisons :

- Les grandeurs manipulées sont observables et mesurables.
- Le nombre d'équations à manipuler est en général bien inférieur à celui obtenu par l'approche dynamique.

Pour une recherche de la loi entrée-sortie d'un point de vue dynamique, l'approche énergétique est à privilégier. Le théorème de l'énergie cinétique donne un résultat immédiat.

Toute étude commence par une approche globale. En effet, il est inutile de se lancer dans des L'approche dynamique enfin est à mener lorsque l'on cherche à dimensionner les composants d'un mécanisme. Il est alors seulement nécessaire de connaître les torseurs d'actions mécaniques transmissibles par les liaisons.

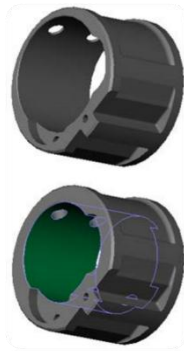
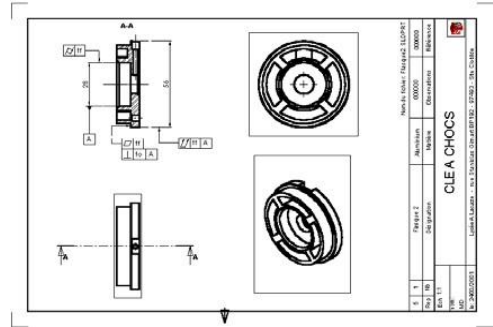
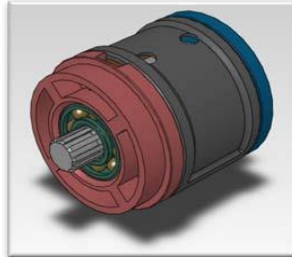
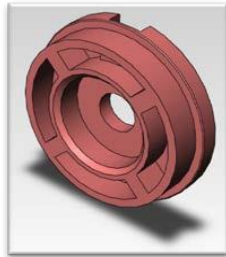


CHAPITRE II

Introduction à SolidWorks

II-1 : INTRODUCTION

Le logiciel SOLIDWORKS est un modéleur volumique permettant de créer des pièces complexes en 3 dimensions. Ces pièces peuvent être ensuite utilisées pour créer des mises en plan en 2D et des assemblages de plusieurs pièces entre elles [7].



SOLIDWORKS est un système à cotation piloté. On peut spécifier des côtes et rapports géométriques entre les éléments. Un changement de cote entraîne un changement de taille de la pièce, tout en préservant l'intention de conception.

Un modèle SolidWorks est constitué de pièces, d'assemblages et de mise en plan. Les pièces, les assemblages et les mises en plan affichent le même modèle dans des documents différents. Les changements opérés sur le modèle dans l'un des documents se propagent aux autres documents contenant ce modèle

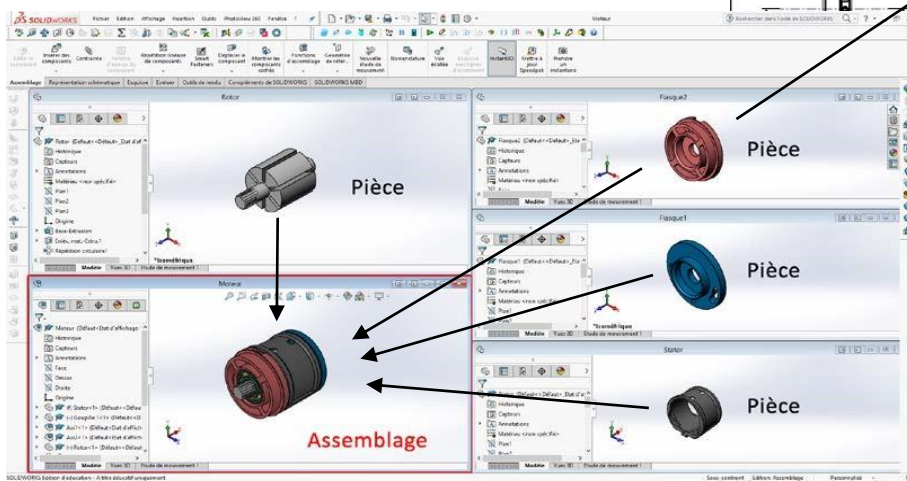
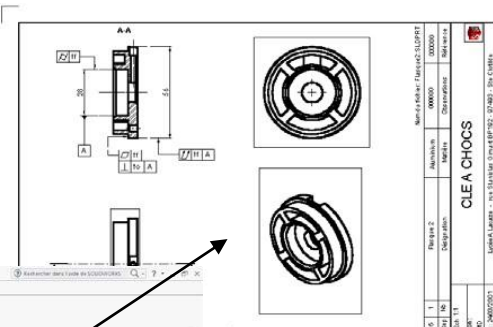


Figure II-1 : Exemples des pièces avec sa mise en plan sous SolidWorks

Le logiciel SolidWorks comprend :
3 modules élémentaires : Pièce, Assemblage, Mise en plan.

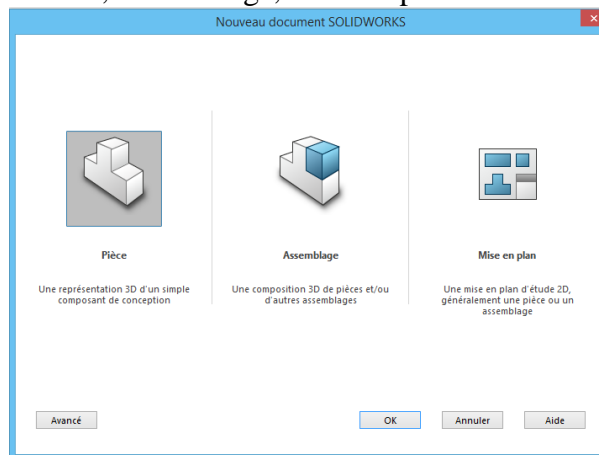


Figure II-2 : Choix du module

En fonction du type de licence, d'autres compléments peuvent être implémentés. Dans la version SolidWorks Premium sont disponibles les compléments suivants : SolidWorks Simulation, SolidWorks FlowSimulation, PhotoView 360, SolidWorks Motion.

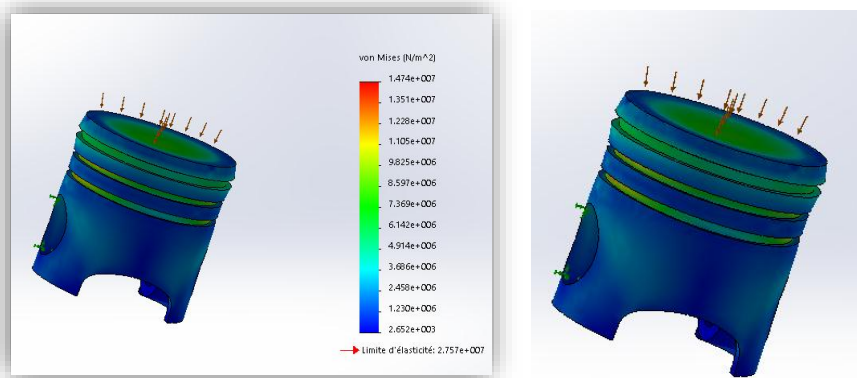


Figure II-3 : Etude de simulation d'un piston sous SolidWorks Simulation [7]

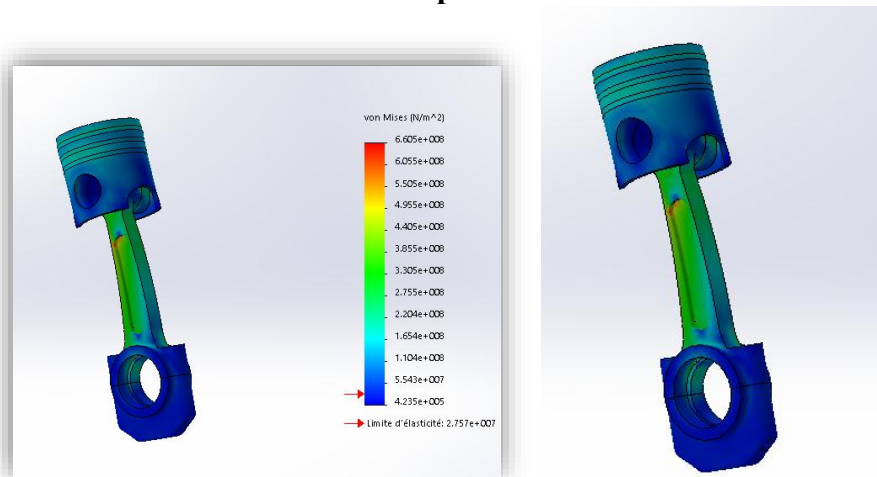


Figure II-4 : Etude de simulation d'un ensemble bielle/piston sous SolidWorks Simulation

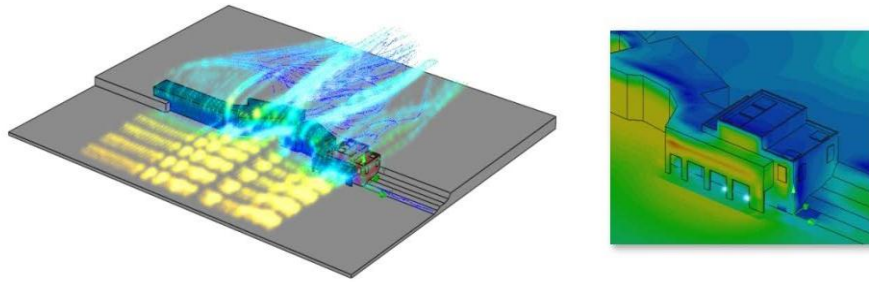


Figure II-5 : Etude de simulation des effets du vent sur un bâtiment de Formes complexes sous SolidWorks Flow Simulation [8]

II-2 : Le module pièce

Le module pièce est le premier module élémentaire de SolidWorks, servant à élaborer le modèle numérique.

II-2-1 : Interface

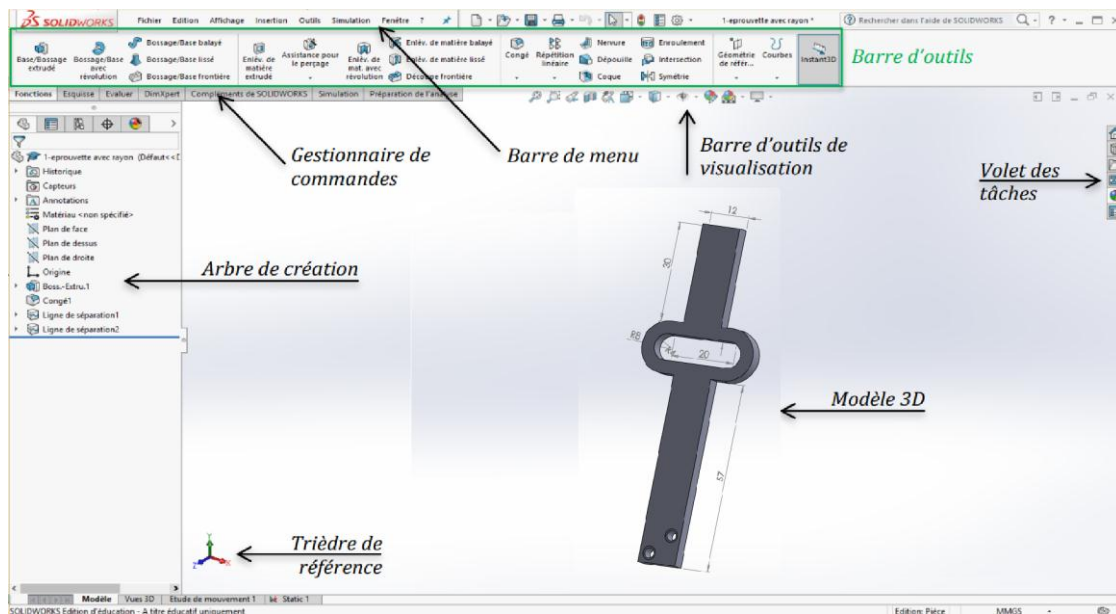


Figure II-6 : Interface de logiciel SolidWorks (module pièce)

II-2-2 : Les barres d'outils

II-2-2-1 : Esquisse

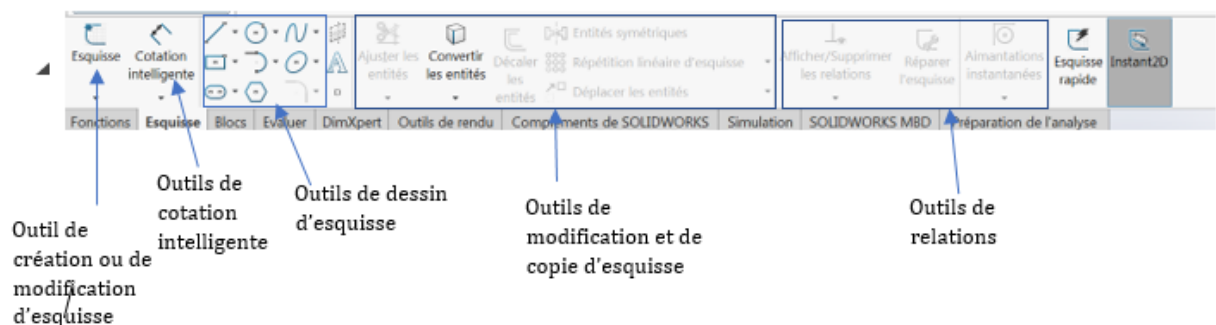


Figure II-7 : la barre d'outils Esquisse

Important : On construit des pièces à partir de FONCTIONS et la plupart des FONCTIONS sont construites à partir d'une ou de plusieurs ESQUISSES.

II-2-2-2 : Fonction

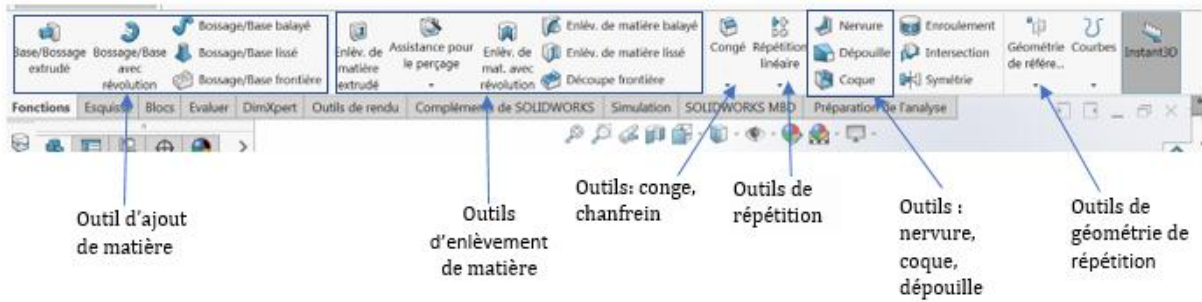


Figure II-8 : la barre d'outils Fonction

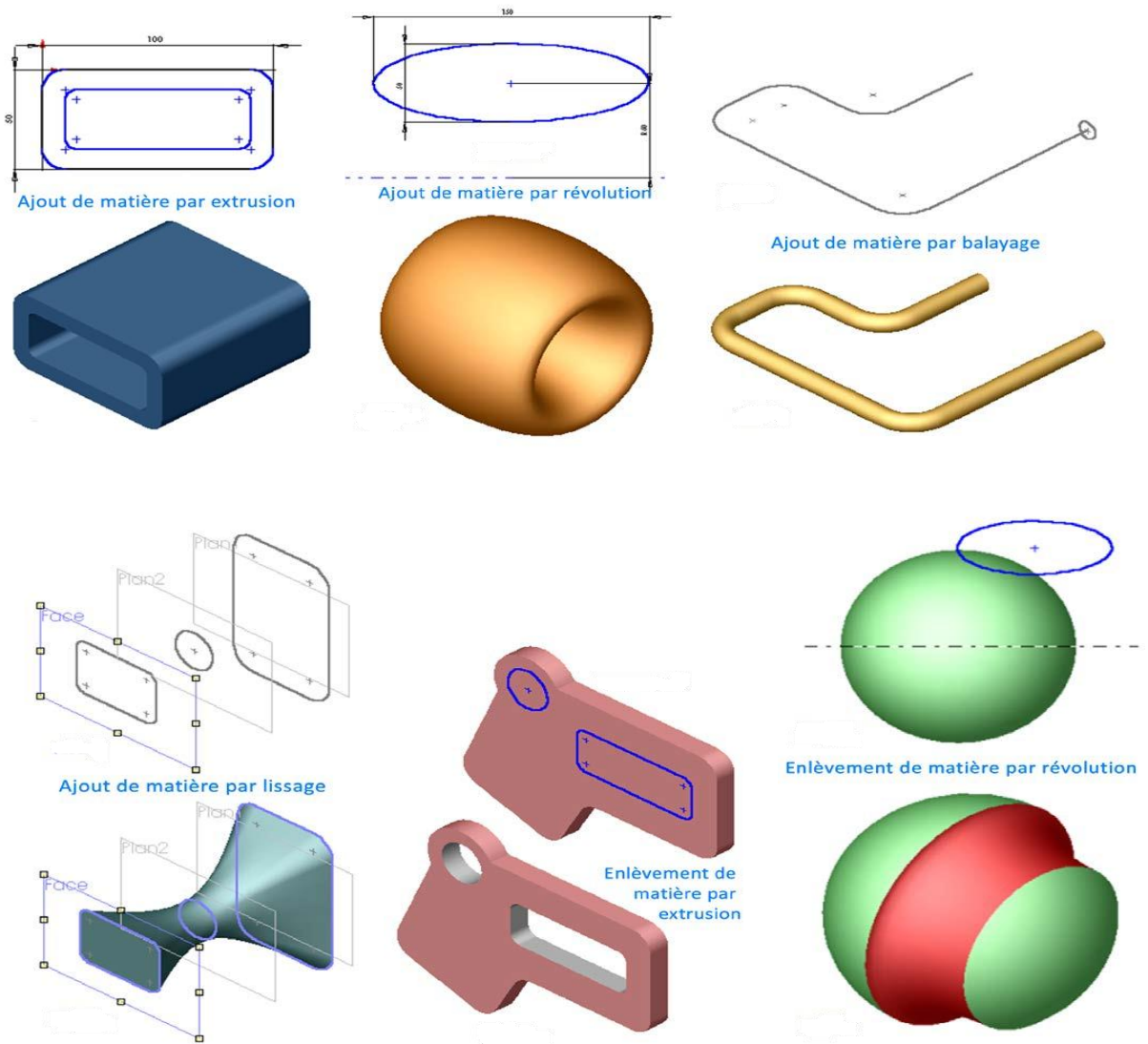


Figure II-9 :Des formes 3D réalisé par SolidWorks

II-2-2-3 : Affichage

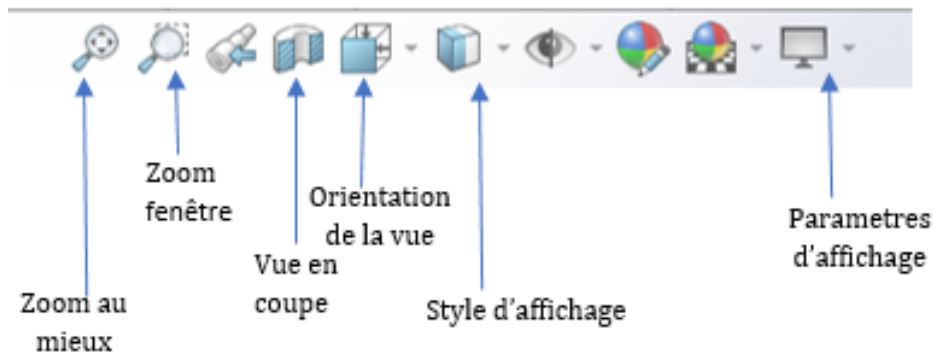


Figure II-10 : la barre d'outils affichage

II-3 : LE MODULE ASSEMBLAGE

Le module assemblage est le deuxième module élémentaire de SOLIDWORKS, permettant d'effectuer l'assemblage des pièces que l'on a élaboré préalablement dans le module pièce.

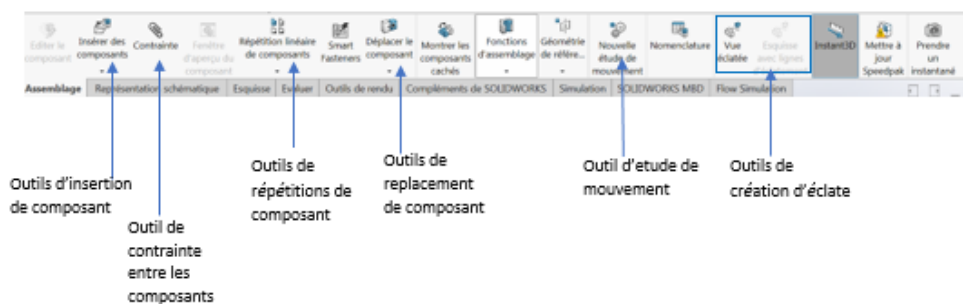
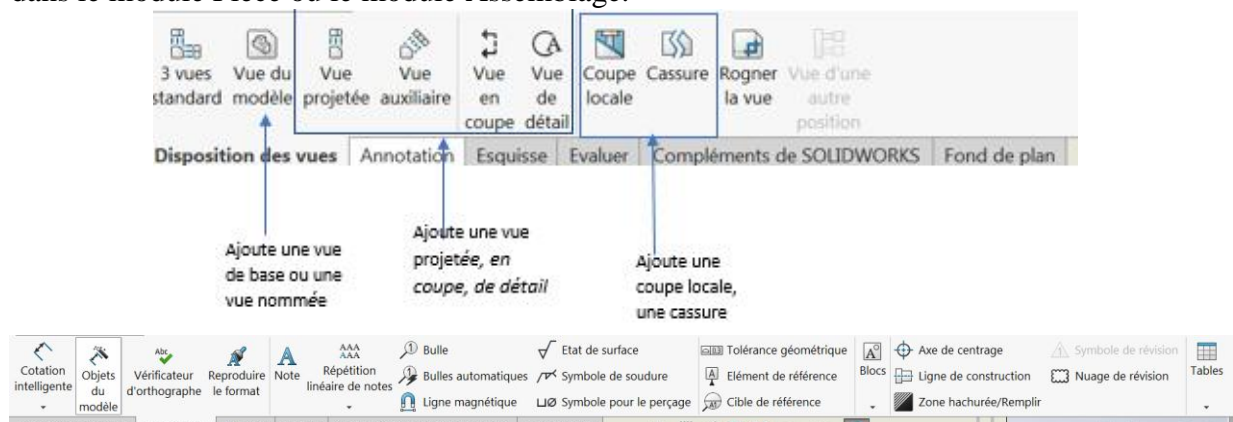


Figure II-11 : la barre d'outils Assemblage

II-4 : LE MODULE MISE EN PLAN

Le module Mise en Plan est le troisième module élémentaire de SOLIDWORKS, servant à effectuer la mise en plan d'une pièce ou d'un assemblage, que l'on a élaboré préalablement dans le module Pièce ou le module Assemblage.



La barre d'outils d'annotation permet d'insérer des cotes diverses, du texte, des hachures et des axes à la mise en plan

Figure II-12 : les barre d'outils conçu pour la mise en plan

II-5 : PhotoView 360

PhotoView 360 permet de créer des rendus d'images au réalisme photographique des pièces et assemblages de SolidWorks.

Pour un rendu d'image réaliste d'un modèle de SOLIDWORKS, vous pouvez choisir parmi un nombre d'effets avancés de rendu, et vous pouvez préciser vos préférences de traitement, y compris : Matériaux, lumière, image de fond, qualité de l'image, format de sortie du rendu. Ces informations sont groupées pour former une scène PhotoView 360.

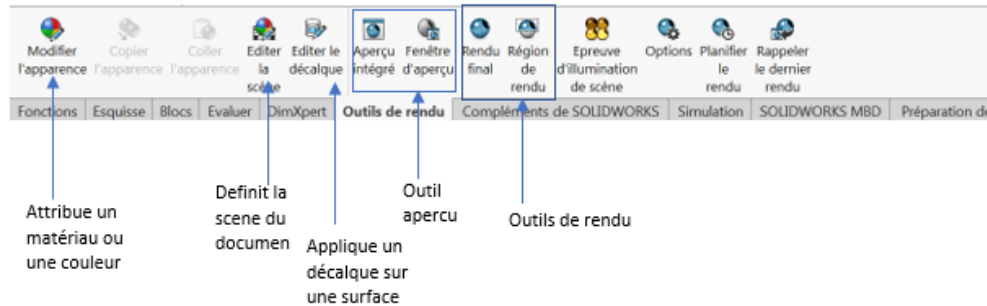


Figure II-13 : la barre d'outils de PhotoView 360

II-6 : SOLIDWORKS Motion

Avec SOLIDWORKS Motion, vous pouvez animer et capturer le mouvement d'assemblages SOLIDWORKS.

SOLIDWORKS Motion peut générer des animations basées sur Windows (fichiers .avi). Conjointement avec PhotoView 360, SOLIDWORKS Motion peut produire des animations au réalisme photographique.

Après avoir créé votre animation, SOLIWORKS Motion vous permet d'enregistrer l'animation en tant que fichier .avi pour être ensuite jouée séparément du logiciel SOLIDWORKS.

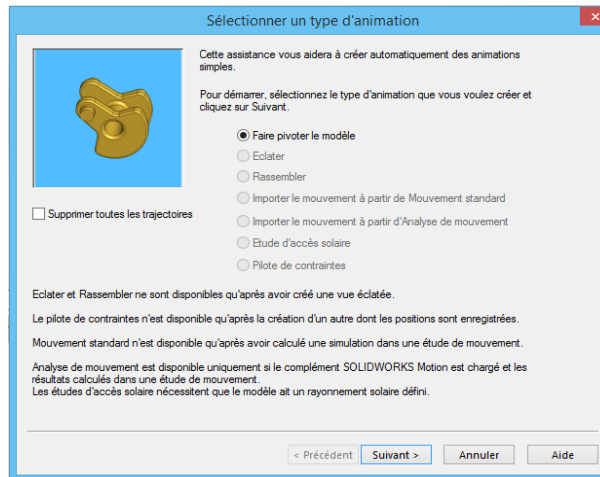


Figure II-14 : fenêtre de choix de type d'animation

II-7 : SOLIDWORKS FlowSimulation

SOLIDWORKS Flow Simulation est une solution de calcul de dynamique des fluides (CFD) permettant de simuler rapidement et facilement les écoulements de liquide et de gaz à l'intérieur et autour d'une pièce ou d'un assemblage [09].

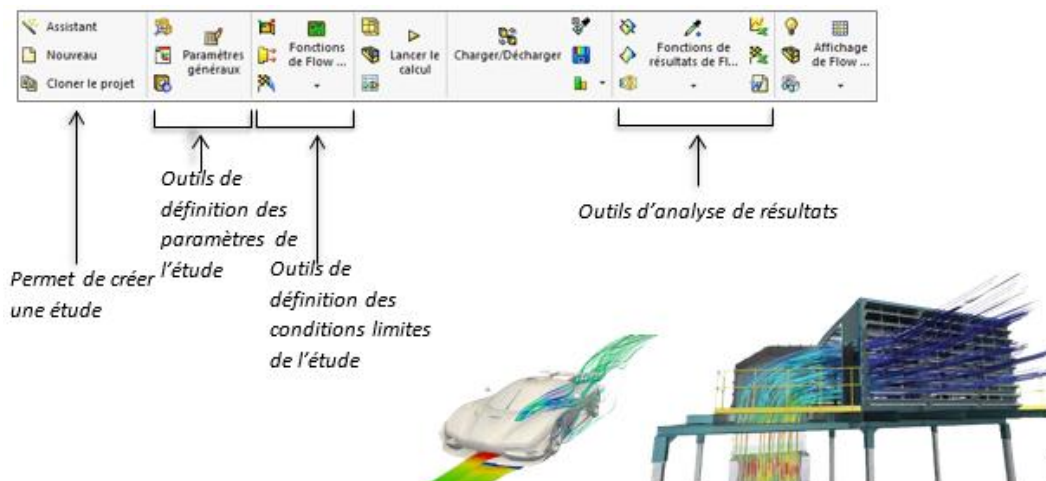


Figure II-15 : la barre d'outils de SolidWorks FlowSimulation

II-8 : SOLIDWORKS Simulation

SOLIDWORKS Simulation est un portefeuille d'outils d'analyse structurelle faciles à utiliser qui font appel à la méthode d'analyse par éléments finis (FEA) pour prédire le comportement physique réel d'un produit en testant virtuellement des modèles de CAO. Le portefeuille propose des fonctionnalités d'analyse dynamique et statique non linéaire et linéaire.

SolidWorks Simulation permet de tester le comportement mécanique des pièces et des assemblages modélisés dans SolidWorks [10].

SolidWorks Simulation permet de faire une étude : Statique, Fréquentielle, Flambement, Thermique, Test de chute, Fatigue et Dynamique (Modale, harmonique, spectrale et aléatoire).

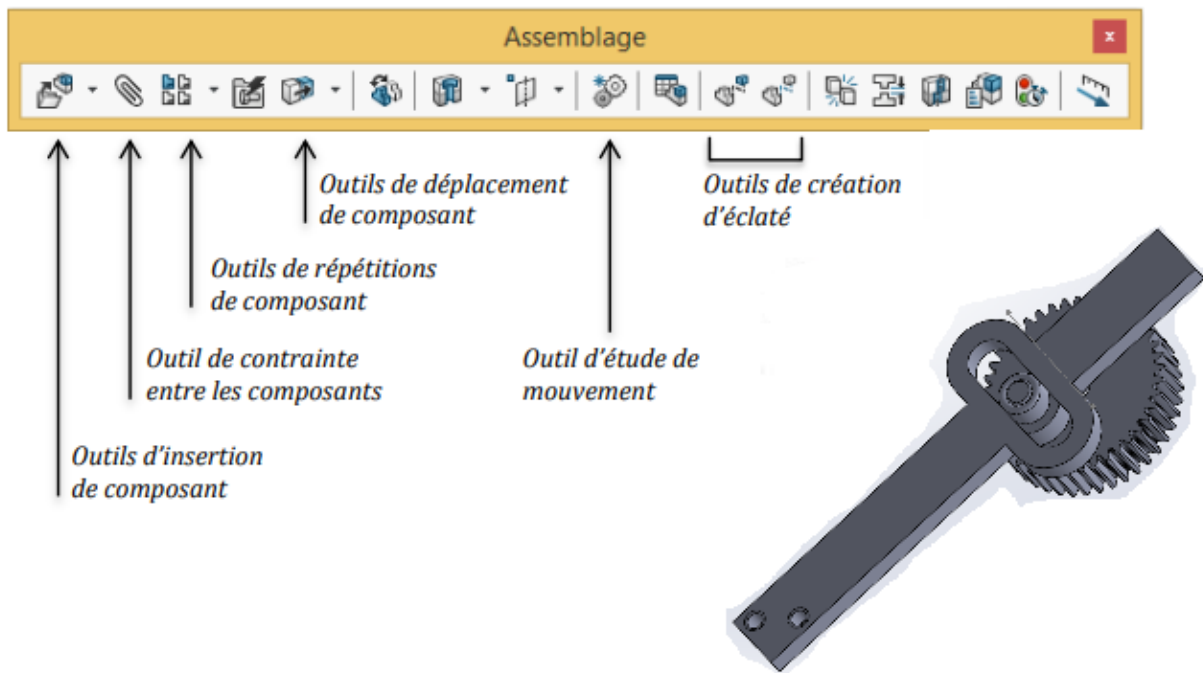


Figure II-16 : la barre d'outils de SolidWorks Simulation

SOLIDWORKS Simulation est un programme d'analyse par éléments finis (FEA) intégré à l'interface CAO FAMILIÈRE DE SOLIDWORKS. La simulation fournit aux concepteurs et aux ingénieurs les outils dont ils ont besoin pour tester rapidement leurs conceptions et les itérer intelligemment. En utilisant des solveurs FEA validés par NAFEMS, SOLIDWORKS Simulation peut fournir des résultats précis et fiables pour un large éventail de types d'études, de l'analyse statique linéaire de base à l'analyse non linéaire et dynamique plus complexe. Accélérez la phase d'itération et de prototypage de votre processus de conception avec SOLIDWORKS Simulation.

II-8-1 : Outils SolidWorks Simulation

Outils d'analyse conçus pour optimiser vos tests.

II-8-1-1 : Analyse statique linéaire

Tester les conceptions utilisant des matériaux linéaires dans des conditions de charge à l'état d'équilibre pour analyser et itérer rapidement les conceptions en fonction des résultats de contrainte, de déformation, de déplacement et de facteur de sécurité (FOS). L'outil Trend Tracker inclus aide les ingénieurs à suivre automatiquement les résultats des modifications de conception [11].

II-8-1-2 : Analyse du mouvement (cinématique)

Exploite les contraintes définies par l'utilisateur (compagnons) dans les assemblages et les entrées mécaniques (gravité, ressorts, amortisseurs, forces, etc.) pour recréer avec précision le mouvement mécanique de l'assemblage et fournir aux concepteurs des forces de réaction, une position, une accélération et des vitesses [12].

II-8-1-3 : Analyse de la fatigue

Utilisés pour tester la durée de vie des conceptions en raison d'une défaillance par fatigue, les ingénieurs peuvent appliquer plusieurs scénarios de charge, y compris des charges variables et cycliques où la contrainte maximale est inférieure au rendement du matériau pour comprendre la durée de vie prévue de leurs conceptions.

II-8-1-4 : Analyse de fréquence

Également connu sous le nom d'analyse modale, ce test est utilisé pour déterminer à la fois la forme modale et les fréquences naturelles des pièces et des assemblages. Il s'agit d'informations essentielles pour un ingénieur lors de la création de conceptions qui seront soumises à des entrées de vibrations ou utilisées dans des environnements vibrants.

II-8-1-5 : Analyse thermique

Ce test donne aux ingénieurs une méthode pour étudier et comprendre le transfert de chaleur, à la fois stable et transitoire, par conduction entre les composants ainsi que par rayonnement et convection dans l'environnement environnant. Les résultats de cette analyse peuvent être utilisés dans une analyse des contraintes pour voir comment les conditions thermiques affecteront la contrainte et le déplacement dans une pièce ou un assemblage.

II-8-1-6 : Optimisation de la topologie

Plutôt que de créer une conception et de la valider, cette étude permet aux ingénieurs de spécifier le « cadre englobant », la rigidité, le poids et les exigences de fréquence du composant et de permettre au logiciel de générer la forme idéale pour répondre à ces exigences tout en tenant compte des contraintes de fabrication.

II-8-1-7 : Optimisation paramétrique

Permet aux concepteurs de tester et d'optimiser rapidement une conception en fonction de variables telles que les dimensions et les matériaux avec des contraintes et des objectifs globaux donnés tels que le poids, la résistance, la fréquence et même le coût de fabrication.

II-8-1-8 : Analyse du flambage

Utilisé pour analyser les structures porteuses qui sont placées sous des forces de compression afin de tester avec précision le facteur de sécurité (FOS) contre la défaillance de flambage d'une conception.

II-8-1-9 : Test de chute

Fournit un outil facile à utiliser pour simuler les impacts des tests de chute des composants et des assemblages. L'analyse des tests de chute donne un contrôle total sur la surface d'impact,

la hauteur, la vitesse et l'angle de la chute pour comprendre comment une conception se comportera lorsqu'elle est soumise à un impact de chute.

II-8-1-10 : Analyse non linéaire

Les caoutchoucs, les plastiques et bien d'autres matériaux non linéaires ne peuvent pas être testés avec précision avec un solveur linéaire. L'analyse non linéaire permet aux ingénieurs d'utiliser des modèles de matériaux avancés pour analyser avec précision les conceptions qui incorporent ces matériaux.

II-8-1-11 : Analyse composite

Utilisée lors de la conception avec des matériaux tels que la fibre de verre ou la fibre de carbone, cette étude permet aux ingénieurs de spécifier l'orientation de la fibre et le calendrier de pose pour leurs conceptions. Les résultats fournissent des informations sur les contraintes à chaque couche ainsi que sur les contraintes interlaminaires et les résultats spécifiques composites comme Tsai Hill et Tsai Wu.

II-8-1-12 : Analyse dynamique

Permet aux concepteurs de tester l'historique modal du temps, l'analyse harmonique, les vibrations aléatoires et le spectre de réponse des composants et des assemblages. Des résultats tels que la réponse transitoire, la réponse de pointe, le stress, l'accélération et le déplacement peuvent être fournis par ce type d'analyse [10].

II-8-2 : 6 étapes pour votre première simulation SOLIDWORKS

SOLIDWORKS Simulation existe depuis des années et remonte à 1982 et à la Structural Research and Analysis Corporation (SRAC). SOLIDWORKS Simulation s'appelait auparavant COSMOS Works, et depuis ses débuts, le programme d'analyse par éléments finis s'est efforcé d'être puissant, précis et FACILE à utiliser.

Une partie de la facilité d'utilisation de SOLIDWORKS Simulation réside dans les six étapes simples que chaque étude de simulation partage.

Étape 1 : Définissez votre étude. Statique, thermique, fréquence, etc.

Étape 2 : Assigner vos matériaux

Étape 3 : Appliquer les conditions aux limites (diagramme du corps libre)

Étape 4 : Mailler le modèle

Étape 5 : Exécuter l'analyse (résoudre)

Étape 6 : Voir les résultats

De gauche à droite sur le gestionnaire de commandes, ou de haut en bas dans l'arborescence des fonctionnalités de simulation, ces six étapes sont visibles.

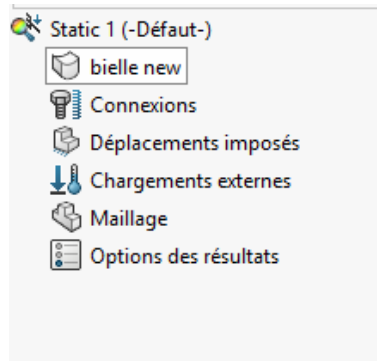


Figure II-17 : la barre d’outils de simulation

Tout d’abord, choisissez Nouvelle étude et choisissez le type d’étude qui s’applique à vos besoins d’analyse. Dans cet exemple ci-dessous, une étude statique est spécifiée.

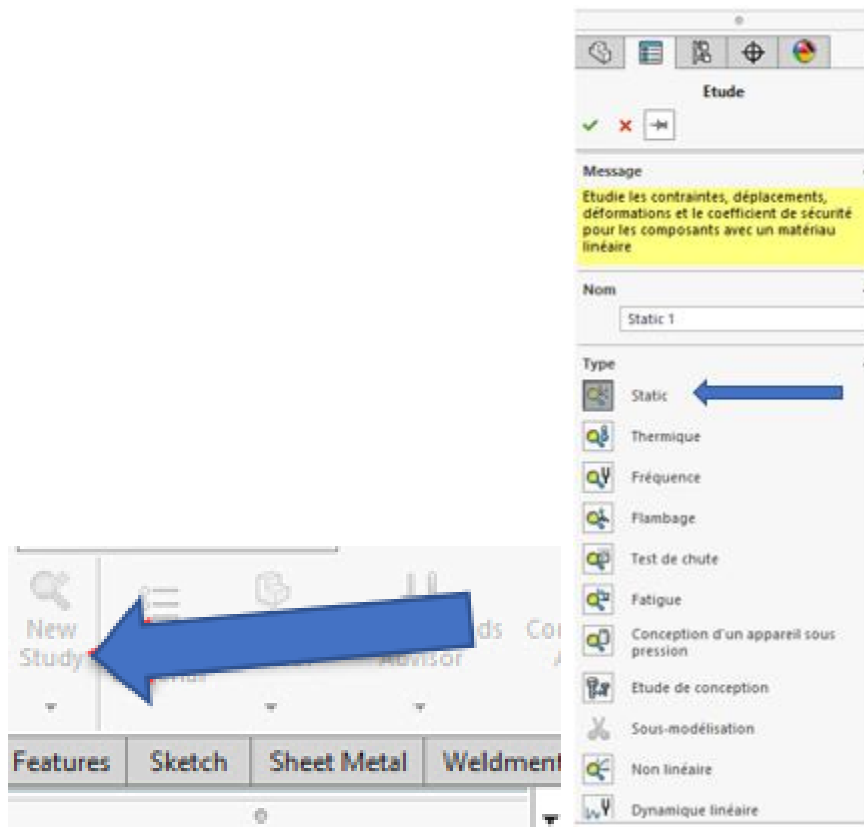


Figure II-18 : Définir le type d’étude

Une fois le type d'étude choisi, l'arborescence des fonctionnalités de simulation s'ouvre sous l'arborescence du gestionnaire de fonctionnalités SOLIDWORKS. La deuxième étape peut être effectuée par un bouton droit de la souris sur la pièce ou en sélectionnant le matériau dans le gestionnaire de commandes.

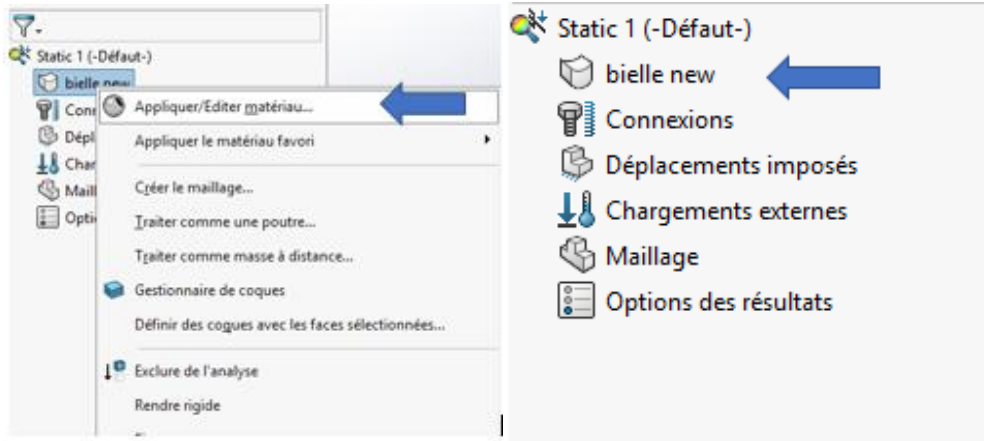


Figure II-19 : Choix du matériau

La base de données de matériaux est identique à la bibliothèque de matériaux SOLIDWORKS, de sorte que le matériau peut être transféré du modèle SOLIDWORKS. Les propriétés mécaniques requises pour résoudre le type d'analyse spécifique sont surlignées en rouge [7].

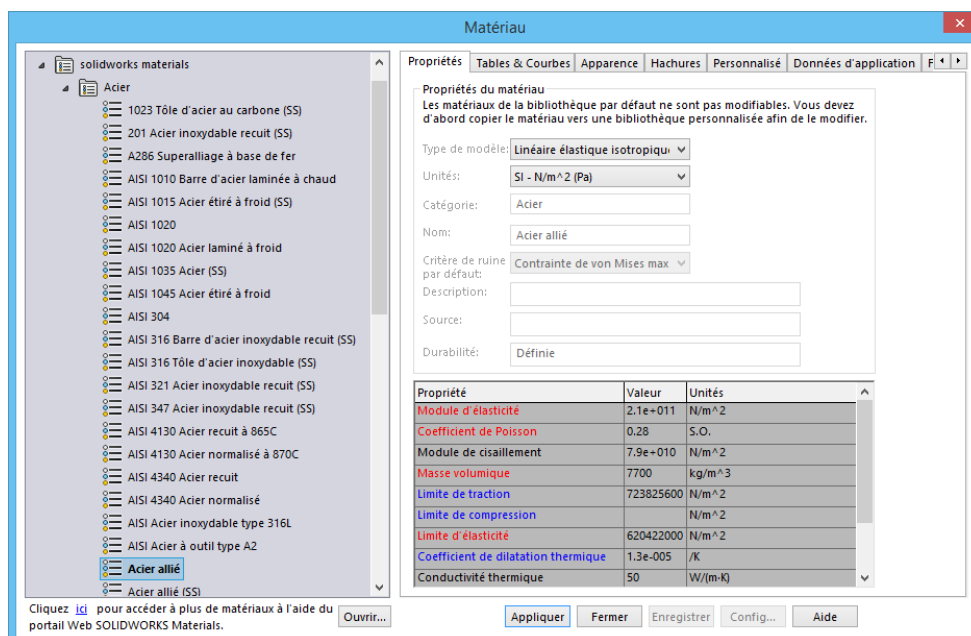


Figure II-20 : Fenêtre des caractéristiques des matériaux

La troisième étape est l'étape du diagramme du corps libre et indique à la simulation comment le modèle se comporte dans le monde réel. Il s'agit de l'étape la plus importante du processus et consiste à attribuer des charges, des fixations, des contacts et des connecteurs.

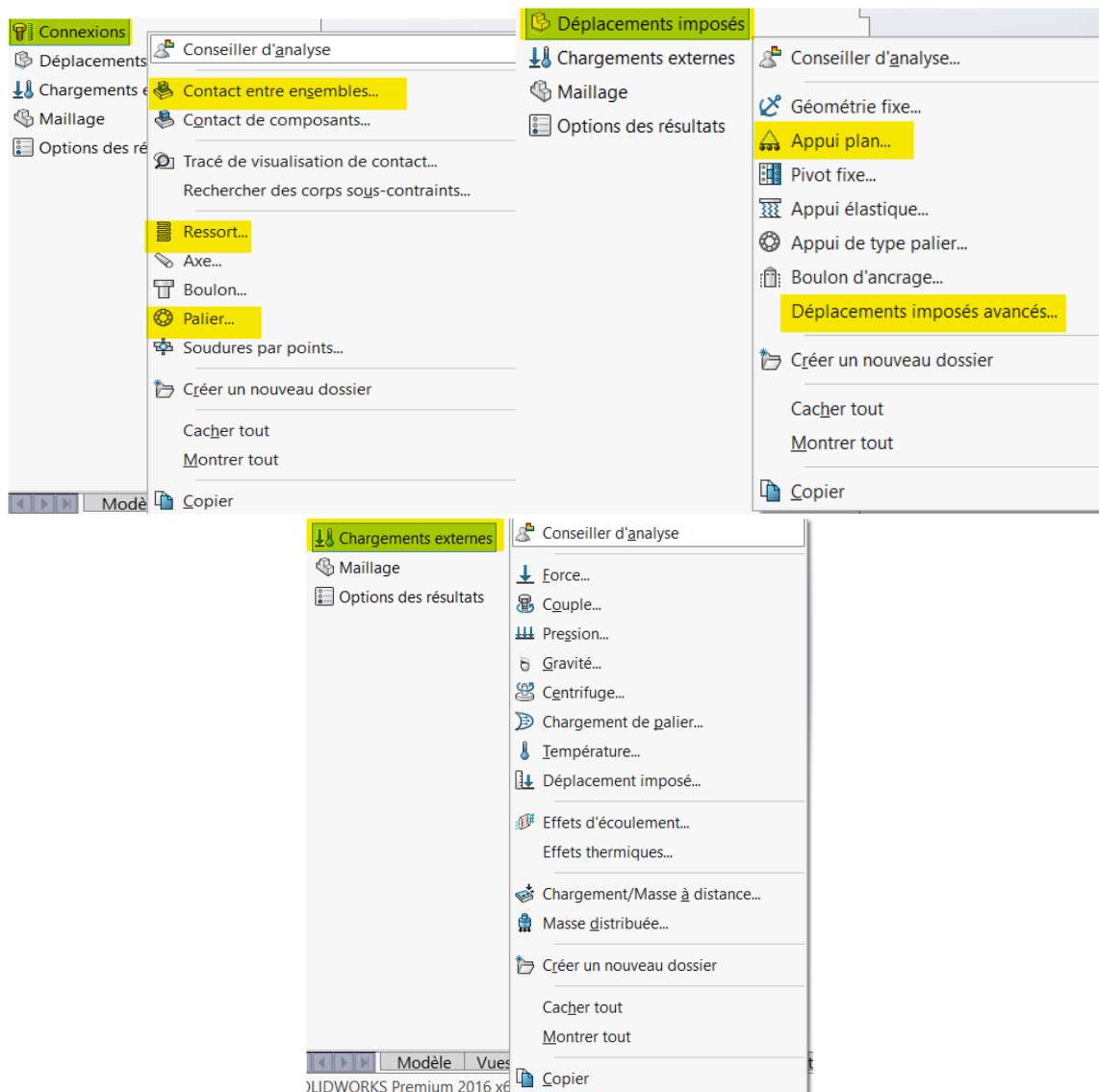


Figure II-21 : Appliquer les conditions aux limites

Attribuer des charges, des fixations, des contacts et des connecteurs

La quatrième étape consiste à discrétiser ou à mailler le modèle. SOLIDWORKS offre une multitude d'options de maillage, notamment les types de maillage Solid, Shell et Beam.

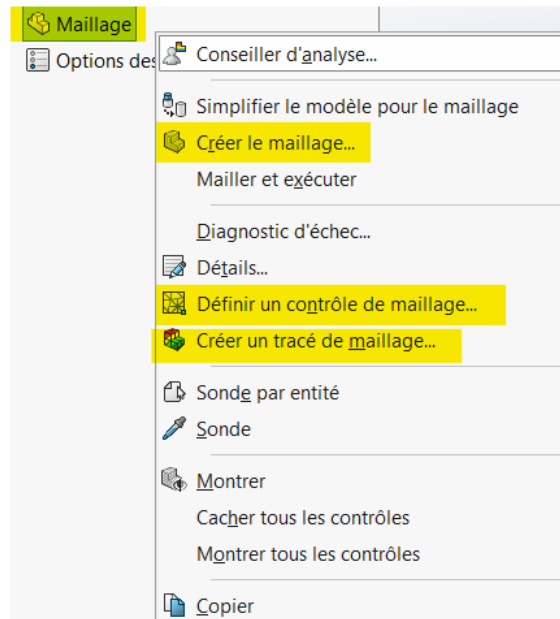


Figure II-22 : Créer le maillage

La cinquième étape est l'endroit où l'ordinateur fait le gros du travail. L'exécution ou la résolution de l'analyse peut être effectuée individuellement ou en mode batch si plusieurs études doivent être résolues.

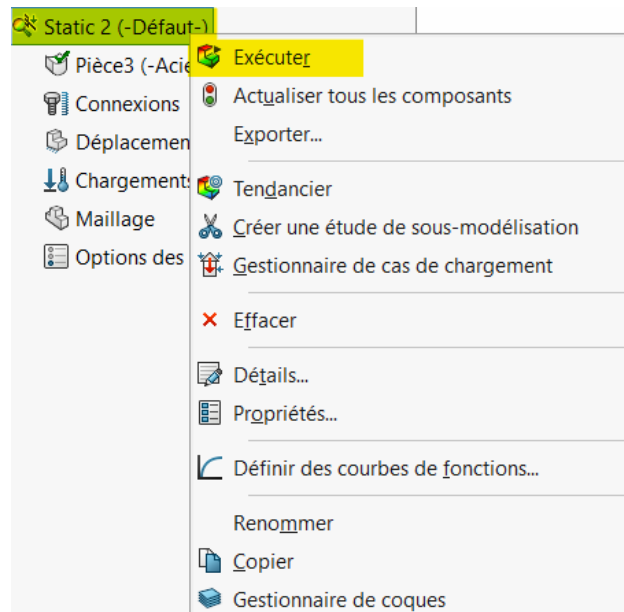


Figure II-23 : Exécuter le programme

La sixième et dernière étape consiste à examiner les résultats. La contrainte, le déplacement, la déformation, l'usine de sécurité sont parmi les plus courants, cependant, SOLIDWORKS Simulation fournit un large éventail d'options de résultats.

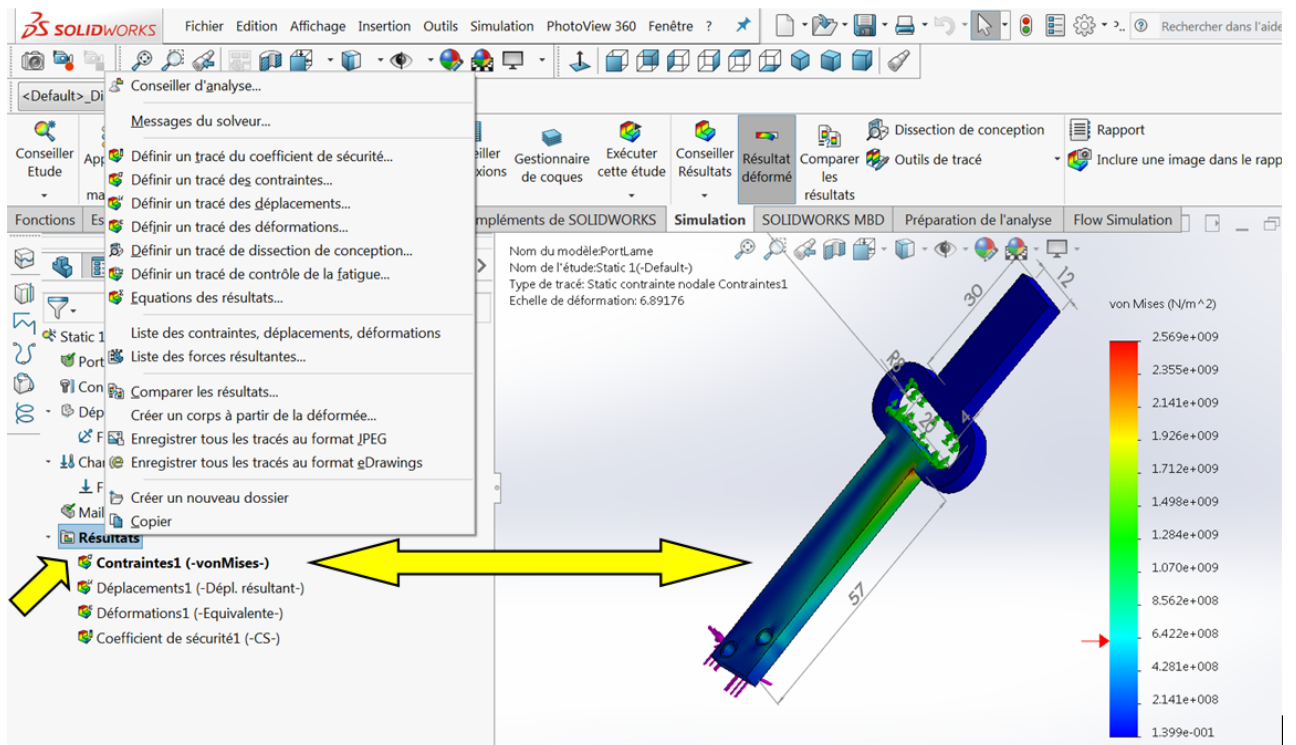


Figure II-24 : Visualisation des résultats

Les étapes 1 à 4 sont le prétraitement et les étapes 5 à 6 le post-traitement. Quel que soit le type d'analyse que vous choisissez d'effectuer, ces six mêmes étapes vous guideront du début à la fin. [11].

De nos jours, les nouveaux produits sont le pilier de base de la plupart des entreprises. Mais la pression de la concurrence est tellement forte qu'il est parfois fastidieux de commercialiser ces produits. La réussite repose souvent sur la capacité d'une entreprise à obtenir un équilibre parfait entre innovation, coût, durée et qualité pendant le développement. Pour équilibrer de manière efficace cette équation, il est indispensable de comprendre parfaitement et le plus tôt possible le comportement d'un produit. Les entreprises qui utilisent une autre stratégie d'ingénierie à la place des calculs manuels et du prototypage physique parviennent à améliorer leurs performances. Les raisons qui poussent les entreprises à adopter la simulation virtuelle sont très simples

La complexité ne fait qu'augmenter et les calculs manuels ne peuvent pas suivre. La complexité des produits et de leur environnement de fabrication sont les deux principaux obstacles identifiés par les développeurs des produits. Les calculs manuels ne sont efficaces que sur les produits les plus basiques.

Les ressources de conception sont limitées ; la simulation virtuelle améliore considérablement l'efficacité sur le plan technique. Plus de 60 % des sociétés pensent que leur personnel hautement qualifié ou technique n'est pas assez nombreux. Les utilisateurs de la simulation virtuelle ont observé une baisse de 16 % de la durée consacrée au développement au cours des deux années précédentes.

Une conception ne peut être optimisée que dans un environnement virtuel. Le logiciel de simulation permet d'évaluer rapidement les performances de plusieurs variables. Les prototypes et les calculs fournissent une réponse unique.

La simulation virtuelle permet de réduire considérablement la dépendance aux prototypes physiques. Depuis que les conceptions peuvent être testées virtuellement, les utilisateurs de la simulation virtuelle ont observé une baisse de 13 % des prototypes complets.

Les produits sont conçus sans erreur, dès la première tentative. La simulation virtuelle analyse le système dans son intégralité, ce qui permet d'obtenir des résultats plus précis. Ce résultat s'accompagne d'une diminution de 10 % des demandes de modifications techniques (ECO) de la part des utilisateurs du logiciel de simulation.

Le stockage et la gestion des calculs manuels font naître des défis uniques. Les calculs réalisés à partir de fichiers Excel internes sont difficiles à utiliser et peuvent poser des problèmes pour les concepteurs qui utiliseraient une version obsolète.

Tout est question de coûts. Conceptions optimisées, moins de modifications et de prototypages qui permettent de réduire considérablement les coûts. Les utilisateurs de la simulation virtuelle sont parvenus à diminuer les coûts de 13 %, tandis que les utilisateurs de calculs manuels les ont augmentés de 2 %.

II-8-3 : Objectif

SOLIDWORKS Simulation est une solution d'analyse structurelle complète, entièrement intégrée à SOLIDWORKS, que les concepteurs et les analystes peuvent utiliser pour permettre aux entreprises de commercialiser leurs produits plus rapidement, à moindre coût et sans compromettre la qualité ou les performances.

II-8-4 : Présentation

SOLIDWORKS Simulation est un portefeuille de solutions d'analyse structurelle qui fait appel à la méthode d'analyse par éléments finis (FEA) pour prédire le comportement physique d'un produit dans le monde réel en testant virtuellement des modèles de CAO. Ce portefeuille fournit des solutions d'analyse linéaire, statique non linéaire et dynamique, réparties dans trois produits : Simulation Standard, Simulation Professional et Simulation Premium, offrant chacun des fonctionnalités faciles à utiliser qui permettent de résoudre les problèmes les plus complexes.

II-8-5 : Avantages

- Détecte des formes de conception alternatives grâce à l'optimisation de la topologie.
- Réduit les délais de mise sur le marché en déterminant rapidement les solutions de conception optimales.
- Prédit les performances, le coefficient de sécurité et la fatigue des produits dès les premières phases du processus.
- Réduit les coûts des matériaux. Grâce à SOLIDWORKS Simulation, les équipes de conception peuvent se débarrasser en toute sécurité des matériaux inutiles.
- Rationalise le processus onéreux de test et de certification en commençant par tester et affiner virtuellement les conceptions, ce qui permet de réduire les délais de mise sur le marché.

II-8-6 : Fonctionnalités

II-8-6-1 : SOLIDWORKS Simulation Standard

SOLIDWORKS Simulation Standard fournit aux concepteurs de produits un environnement de test virtuel intuitif pour la simulation statique linéaire, la simulation de mouvement temporelle et la simulation de fatigue mégacyclique. Concepteurs et ingénieurs peuvent résoudre les problèmes d'ingénierie structurelle courants à l'aide de l'étude statique qui prend en compte une formulation statique linéaire des matériaux et considère que l'ensemble des chargements et déplacements imposés sont statiques (sans variation dans le temps). Avec ces paramètres, les utilisateurs peuvent calculer les contraintes, les déformations, le coefficient de sécurité et les déplacements des composants.

L'étude de fatigue évalue la résistance à la fatigue mégacyclique des composants soumis à plusieurs charges variables, lorsque la contrainte maximale est inférieure à la limite d'élasticité des matériaux. La théorie de l'endommagement cumulatif est utilisée pour prédire les points et

les cycles de rupture. Le tendancier et le tracé de dissection de conception permettent aux concepteurs de mettre en évidence des changements de conception optimaux pendant leur travail. L'analyse de mouvement temporelle est un outil d'analyse de mouvement cinématique et dynamique des corps rigides qui permet de calculer les vitesses, accélérations et déplacements d'un assemblage soumis à des charges opérationnelles. Les concepteurs et les ingénieurs peuvent également déterminer les besoins en énergie des assemblages, ainsi que les effets ressort et amortisseur. Une fois l'analyse de mouvement terminée, le corps du composant et les charges de connexion peuvent être intégrés dans une analyse linéaire pour procéder à un examen structurel complet.

SOLIDWORKS Simulation Standard propose une approche d'ingénierie simultanée qui permet aux ingénieurs de déterminer si les performances de leur produit seront satisfaisantes, et pendant combien de temps.

II-8-6-2 : SOLIDWORKS Simulation Professional

SOLIDWORKS Simulation Professional offre des fonctionnalités puissantes et conviviales dédiées à la multiphysique séquentielle. Les répartitions de température d'une analyse thermique statique ou transitoire peuvent être intégrées dans une analyse statique linéaire, ce qui permet aux calculs de contraintes de tenir compte des effets de la dilatation thermique. Une analyse de fréquence est utilisée pour déterminer le mode naturel de vibration des produits qui sont soumis à des vibrations dans leur environnement de fonctionnement, afin de limiter la possibilité de résonance qui peut réduire considérablement la durée de vie des composants.

Dans SOLIDWORKS Simulation Professional, réaliser des analyses d'hypothèses est un jeu d'enfant grâce à l'étude de conception avec optimisation paramétrique. Les utilisateurs peuvent modifier les paramètres de leurs modèles, des matériaux, des charges et des contraintes pour identifier la conception optimale ou la plus robuste. Les produits fins avec charge dans le plan peuvent présenter une instabilité structurelle, bien en-deçà de la limite d'élasticité des matériaux prévue par l'étude de flambage. Pour une conception sûre des appareils sous pression, les contraintes linéarisées dues aux pressions et aux chargements des tuyaux calculées dans l'étude de l'appareil doivent être signalées. L'étude de topologie permet aux concepteurs et aux ingénieurs de trouver de nouvelles alternatives de conception qui utilisent un minimum de

matériaux et qui tiennent compte de charges statiques élastiques linéaires, tout en respectant les exigences de rigidité, de contrainte et des modes de vibration naturels des composants [10].

Grâce à SOLIDWORKS Simulation Professional, les concepteurs et les ingénieurs peuvent créer des conceptions robustes et innovantes tout en assurant la solidité, la fiabilité et l'endurance des produits.

II-8-6-3 : SOLIDWORKS Simulation Premium

SOLIDWORKS Simulation Premium comporte trois études avancées : statique non linéaire, dynamique non linéaire et dynamique linéaire. L'étude dynamique linéaire se base sur l'étude de fréquence pour calculer les contraintes dues aux vibrations produites. Ainsi, les ingénieurs peuvent calculer les effets des charges dynamiques, d'impact ou de choc ; des simulations de séismes sont même disponibles pour les matériaux élastiques.

L'analyse non linéaire permet aux concepteurs et aux ingénieurs d'étudier le comportement des matériaux complexes, tels que le métal, le caoutchouc et le plastique. Elle permet également de tenir compte des déflexions importantes et du contact glissant au sein des composants.

Les études statiques non linéaires sont basées sur des charges statiques et, bien que celles-ci puissent être séquencées, les effets dynamiques des charges variables ne sont pas pris en compte. Les modèles de matériaux complexes utilisés dans l'analyse non linéaire permettent de calculer la déformation permanente et les contraintes résiduelles dues aux charges excessives, ainsi que de prédire l'effet des ressorts et des attaches à clip.

Dans les études dynamiques non linéaires, l'effet des charges variables en temps réel est intégré dans le calcul et les résultats. Outre les problèmes statiques non linéaires, les études dynamiques non linéaires peuvent également résoudre les problèmes d'impact.

Avec SOLIDWORKS Simulation Premium, les ingénieurs peuvent résoudre les problèmes sans simplification pour reproduire les comportements complexes du monde réel. Toutes les fonctionnalités ne sont pas disponibles dans tous les logiciels ou pour toutes les études.

II-8-6-4 : Aide à la conception SOLIDWORKS

- Intégration totale avec le logiciel de CAO 3D SOLIDWORKS
- Prise en charge des configurations et des matériaux SOLIDWORKS
- Aide, documentation et base de connaissances
- Enregistrement de macros et interfaces de programmation d'applications (API)

II-8-6-5 : Résultats et post-traitement

- Superposition des résultats de simulation sur les graphiques SOLIDWORKS
- Calcul de contraintes, de déformations, de déplacements et du coefficient de sécurité
- Calcul des forces de réaction et des moments
- Tracés de contours, d'isosurfaces, de surfaces et de résultats de section
- Animations des résultats
- Outil de sonde
- Comparaison des données de test
- Détection des points sensibles (singularité de contrainte)
- Résultats pilotés par des équations
- Rapport personnalisable de simulation
- Visualisation des résultats de simulation SOLIDWORKS dans eDrawings®

II-8-6-6 : Analyse générale par éléments finis

- Analyse de pièces à un ou plusieurs corps
- Analyse d'assemblages
- Modélisation de volumes, de coques et de poutres
- Analyses 3D et 2D
- Méthodes adaptatives h et p
- Fonctionnalités de contrôle du maillage
- Sous-modélisation
- Allocation des ressources informatiques pour l'exécution

II-8-6-7 : Types d'analyse

- Analyse statique linéaire
- Analyse de fatigue
- Analyse fréquentielle
- Analyse de flambage linéaire
- Analyse thermique linéaire
- Optimisation de la conception en mode paramétrique
- Études de topologie
- Analyse de test de chute
- Simulation de la conception d'un appareil sous pression

- Analyse cinématique temporelle
- Analyse du mouvement basée sur les événements
- Analyse dynamique linéaire
- Analyse statique non linéaire
- Analyse dynamique non linéaire

II-8-6-8 : Conditions de contact

- Conditions de contact solidaire, glissant et d'ajustement serré
- Condition d'auto-contact
- Condition de résistance thermique de contact
- Condition isolante

II-8-6-9 : Connecteurs

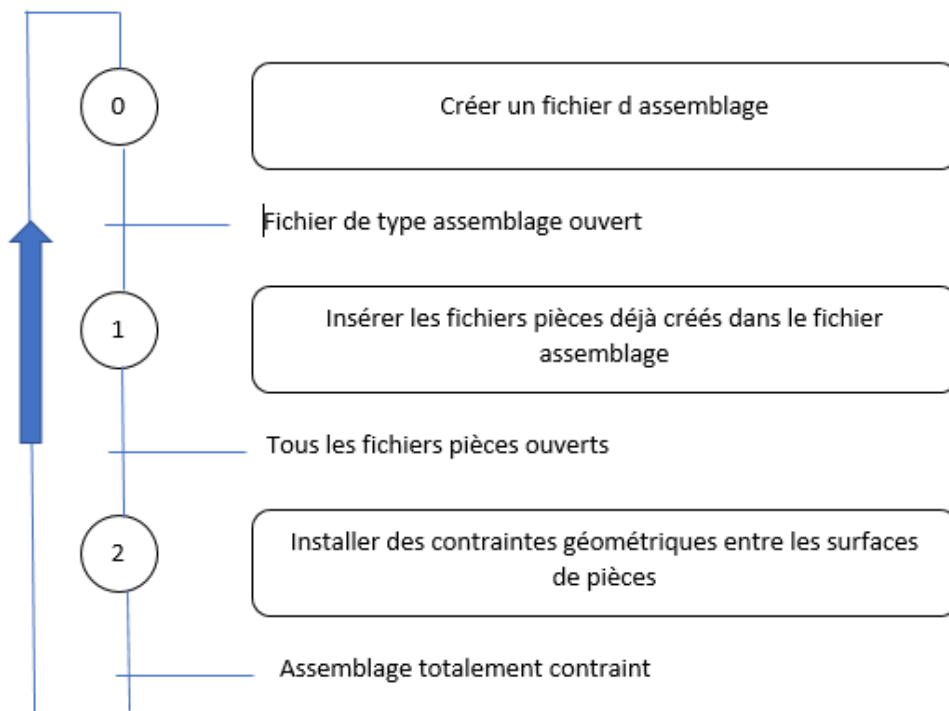
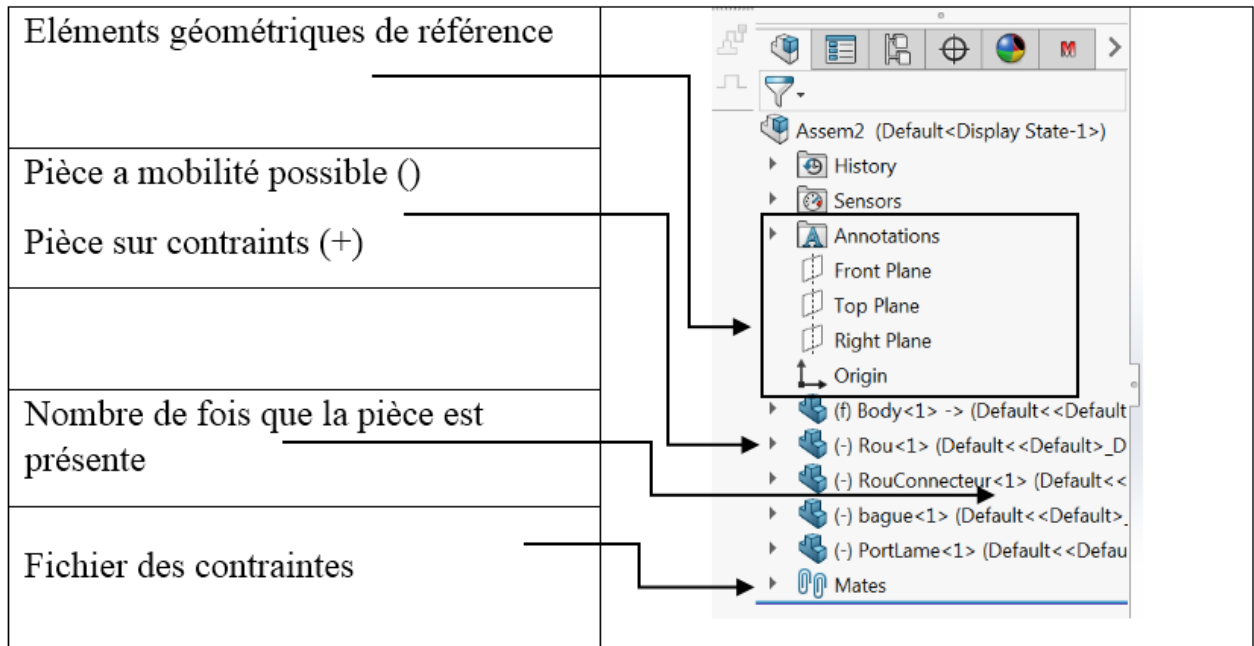
- Boulons, ressorts, goupilles, appuis élastiques et paliers
- Contrôle de sécurité des connecteurs
- Connecteurs de type point de soudure et cordon de soudure

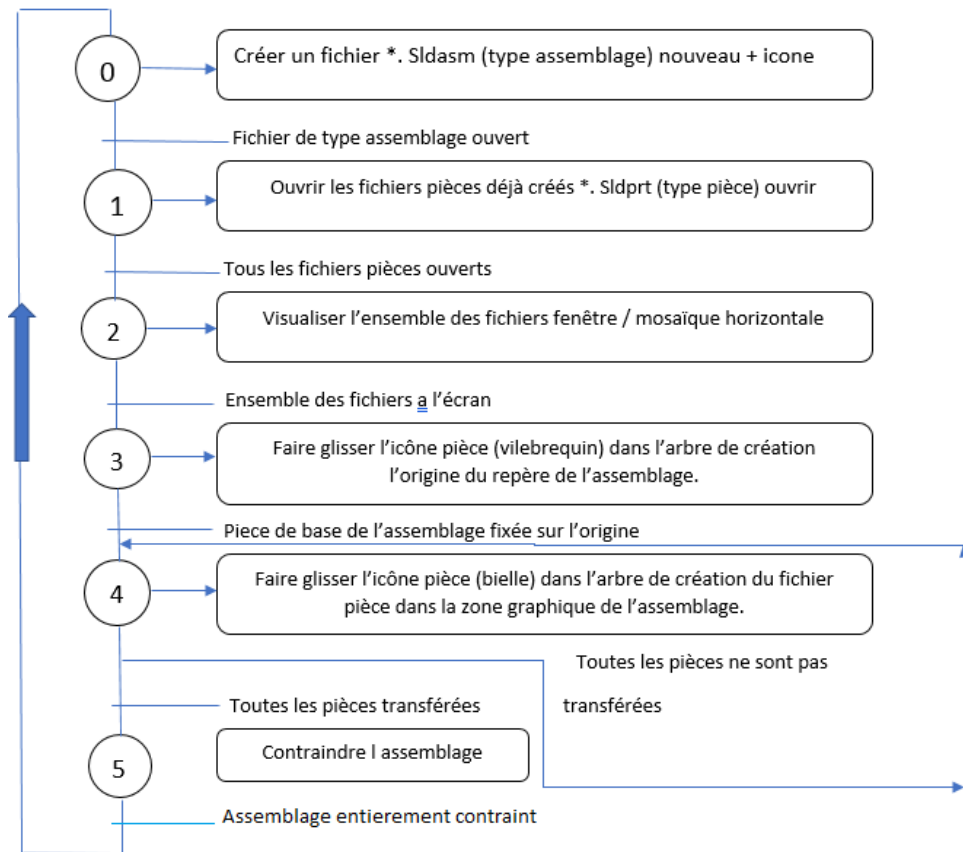
II-8-6-10 : Chargements et conditions aux limites

- Prise en charge des systèmes de coordonnées cartésien, cylindrique et sphérique
- Déplacements imposés : déplacements nuls ou non nuls
- Chargements structurels
- Chargement thermique
- Importation des effets d'écoulements/thermiques
- Gestionnaire de scénarios de chargement
- Courbes de charge [25].

II-9 : Etude de conception des éléments de base d'une scie sauteuse sous SolidWorks

Un mécanisme est constitué de pièces. Les pièces à assembler doivent être créées au préalable dans un fichier pièce. Chaque pièce devra être positionnée par rapport aux surfaces des pièces voisines.





II-9: Conception de la Scie sauteuse

Une scie sauteuse est une machine-outil de découpe, équipée d'une lame dentée, utilisée en général pour la découpe de planches ou de panneaux en bois mais aussi de plastique et d'aluminium. La lame est très petite et étroite : elle est fixée d'un côté à un moteur qui lui fait faire un mouvement de va-et-vient rapide. Sur la plupart des modèles actuels, un guide renforce la rigidité de la lame.






Elle est très utilisée en menuiserie car la petite taille de la lame lui permet d'être extrêmement maniable, et de scier des formes arrondies ou suivant un tracé librement choisi, contrairement aux scies de type scie circulaire qui ne sont faites que pour scier en ligne droite. Elle offre aussi l'avantage de pouvoir effectuer des découpes au centre d'une pièce par exemple. Sa petitesse impose bien sûr des limites, et seules des planches pas trop épaisses peuvent être découpées (suivant la puissance, jusqu'à 9 cm environ).

Certains modèles de scies sauteuses sont appelés pendulaires car en plus d'un mouvement vertical, elles impulsent un mouvement d'avant en arrière à la lame (en avant lors de la découpe et en arrière autrement), ce qui permet une découpe plus rapide et plus précise.

Une scie sauteuse permet également la découpe de tôles et de profilés métalliques de faible épaisseur.

Tout d'abord nous allons commencer par identifier les éléments de base constituant les différentes classes d'équivalence cinématique (CEC) de la scie sauteuse et qui forment la chaîne cinématique minimale.

La scie sauteuse est formée de cinq pièces (CEC) :

<ul style="list-style-type: none"> - Le corps (bâti) - La roue, - La roue connecteur - La bague, - Le porte lame. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶  (f) corps-<1> -> (Defa ▶  (-) Rou<1> (Default<< ▶  (-) RouConnecteur<1> ▶  (-) bague<1> (Default ▶  (-) PortLame<1> (Defa
Eléments de base de la scie sauteuse	Arbre de construction

Commençons par faire appel à la partie fixe qui est le corps (bâti).

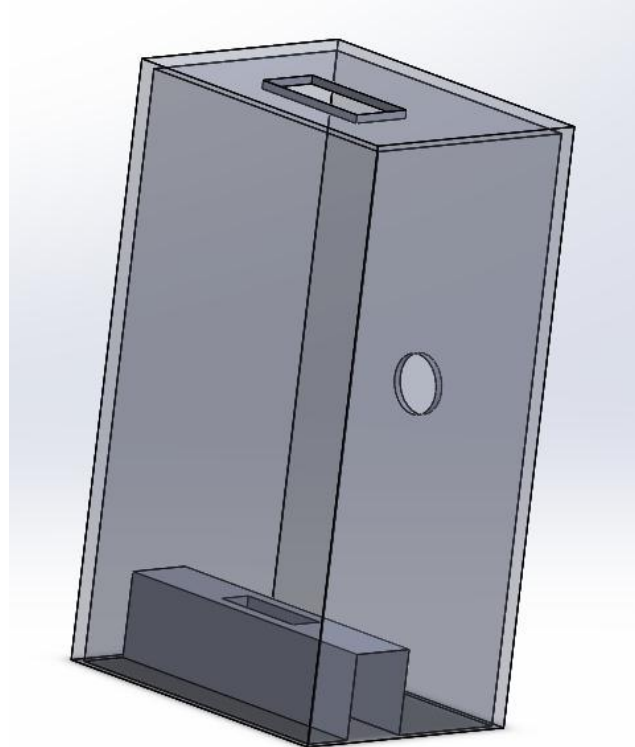


Figure II-25 : Dessin du corps fixe

Ensuite on ajoute la pièce tournante c'est-à-dire la partie liée au moteur, qu'on appelle arbre moteur.

Nous allons assembler notre Roue manivelle avec le corps. Pour contraindre la roue avec le corps on doit sélectionner grâce à l'arbre de création les plans de face de ces pièces. Appliquez-leur une contrainte de coaxialité.

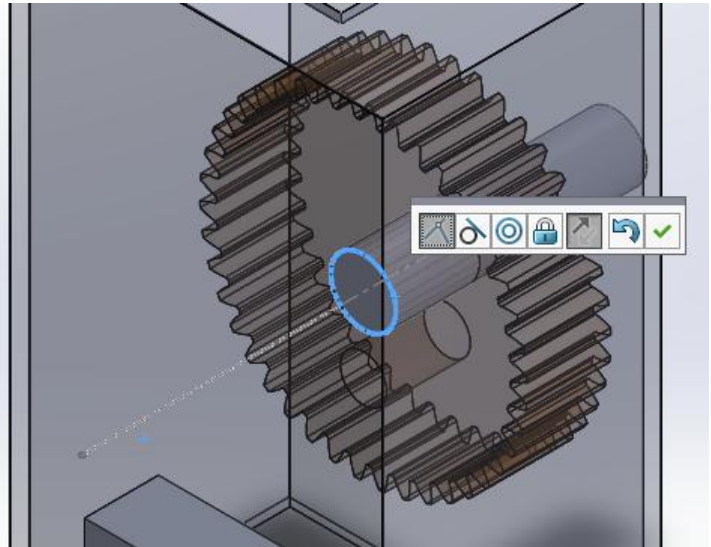
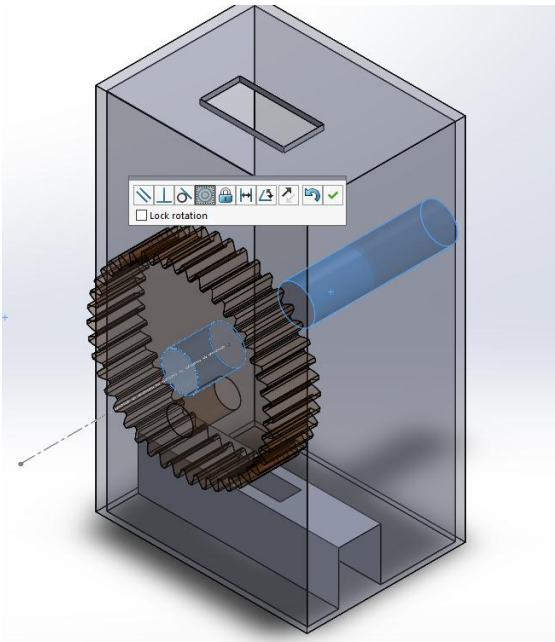


Figure 26: Assemblage de la Roue / Corps

On refait les mêmes étapes avec le connecteur et la Roue manivelle, on ajoute une contrainte de coaxialité

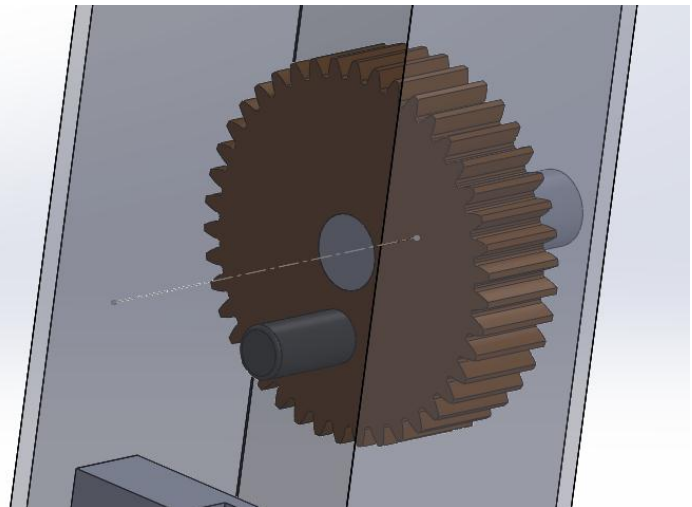
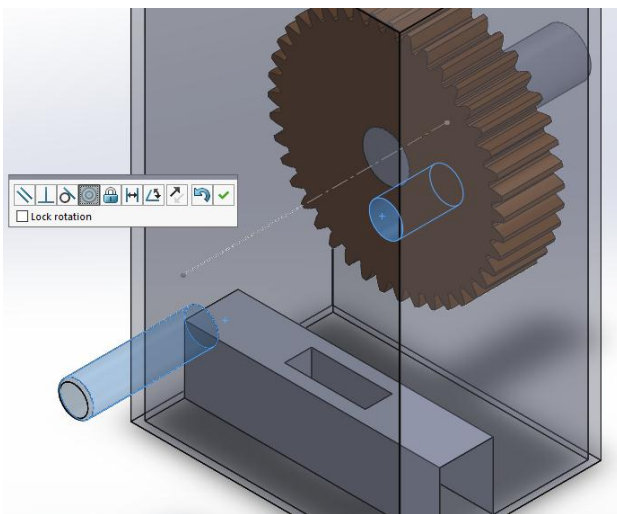


Figure II-27 : Assemblage du connecteur / Roue manivelle

Une contrainte encore de coïncidence entre deux surfaces cylindriques ça va donner un mouvement de rotation et un mouvement de translation c'est pourquoi on procède comme précédemment et on ajoute une coïncidence entre deux surfaces planes.

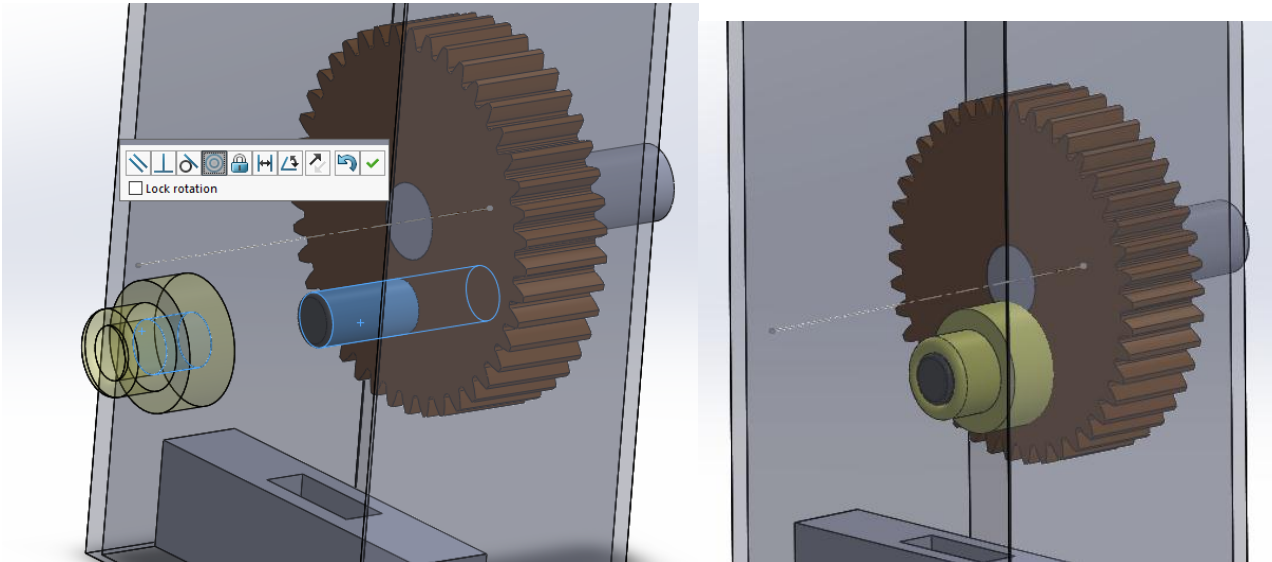


Figure II-28 : Assemblage de la bague / Connecteur

Enfin on ajoute le porteur de lame avec la contrainte pignon/crémaillère, pour que le porteur ne bouge pas horizontalement ou tourne d'une façon non voulue on ajoute deux coïncidence entre le porte lame et le corps.

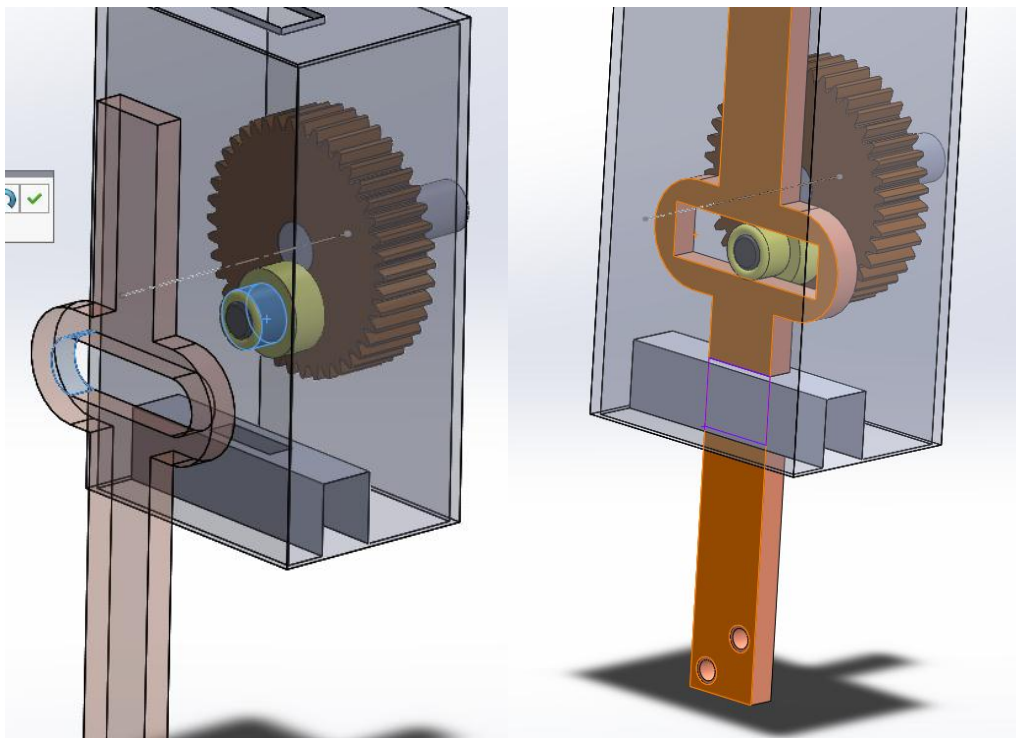


Figure II-29: Assemblage du porteur de lame avec le système

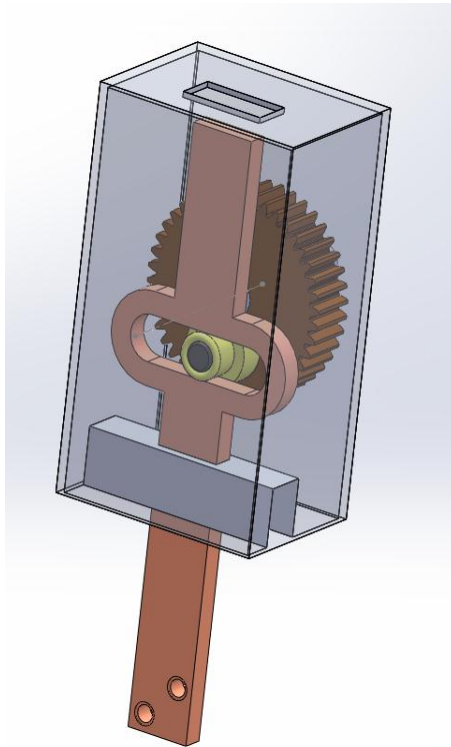


Figure II-30 : La scie sauteuse complet

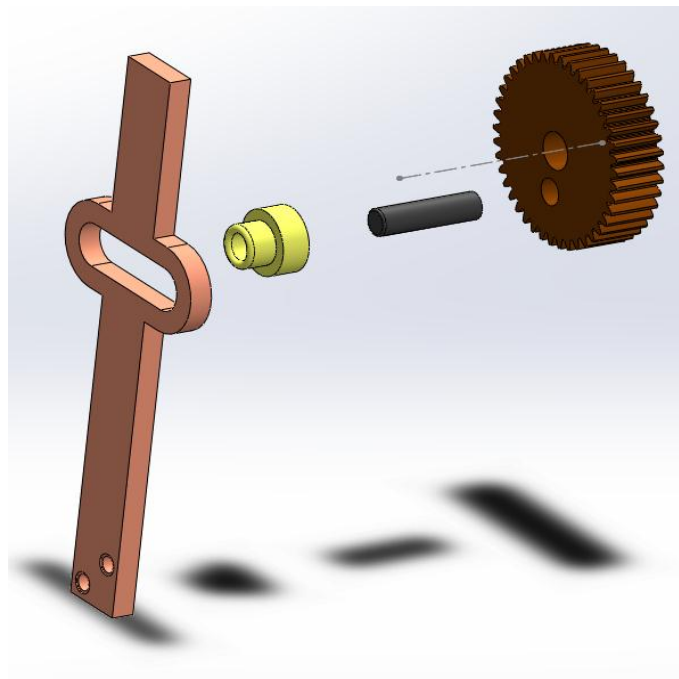


Figure II-31 : Les composants du mécanisme de la Scie Sauteuse éclatée

II-10 : Conclusion

La conception assistée par ordinateur des principaux éléments de base d'une scie sauteuse nous a donnée l'opportunité de faire la simulation du fonctionnement de ce type de machine. Le fichier de conception sera utilisé dans l'étude cinématique et dynamique qui fera l'objet de la suite du travail.

Chapitre III

Etude cinématique et dynamique du mécanisme à coulisseau, de la scie sauteuse, sous SolidWorks

III-1 : Introduction

Le système de base de la scie sauteuse est un mécanisme plan de solides articulés. Il permet de transformer, par l'intermédiaire d'une roue (qui joue le rôle d'une bielle), le mouvement de rotation continu d'une manivelle (assimilée à un vilebrequin) en mouvement de translation alternatif du coulisseau (la lame qui se comporte comme la tête du piston).

Donc, l'étude cinématique de la scie sauteuse se fait d'une manière analogue au système bielle manivelle d'où on peut utiliser les expressions analytiques déduite de l'étude du système mécanisme à coulisseau pour étudier le comportement cinématique et dynamique du mécanisme de base de la scie sauteuse.

Parmi les nombreux mécanismes utilisant le principe cinématique de l'association bielle-manivelle, on trouve :

- les moteurs à combustion interne pour lesquels la translation du piston due à la combustion du carburant est transformée en rotation du vilebrequin,
- les machines à coudre et les scies mécaniques (scie sauteuse)
- les compresseurs et les pompes au sein desquels le mouvement de rotation du moteur est transformé en mouvement de translation du ou des pistons qui vont comprimer le fluide.

III-2 : Description du modèle

Le logiciel de simulation de mouvement permet d'étudier le déplacement, la vitesse et l'accélération des composants mobiles. En simulant dans notre cas les éléments en mouvement composant les différentes classes d'équivalences de la scie sauteuse (il s'agit ici du bâti, de la manivelle et coulisseau « porte lame »), l'utilisateur peut aborder le comportement cinématique des différents paramètres des éléments en mouvement.

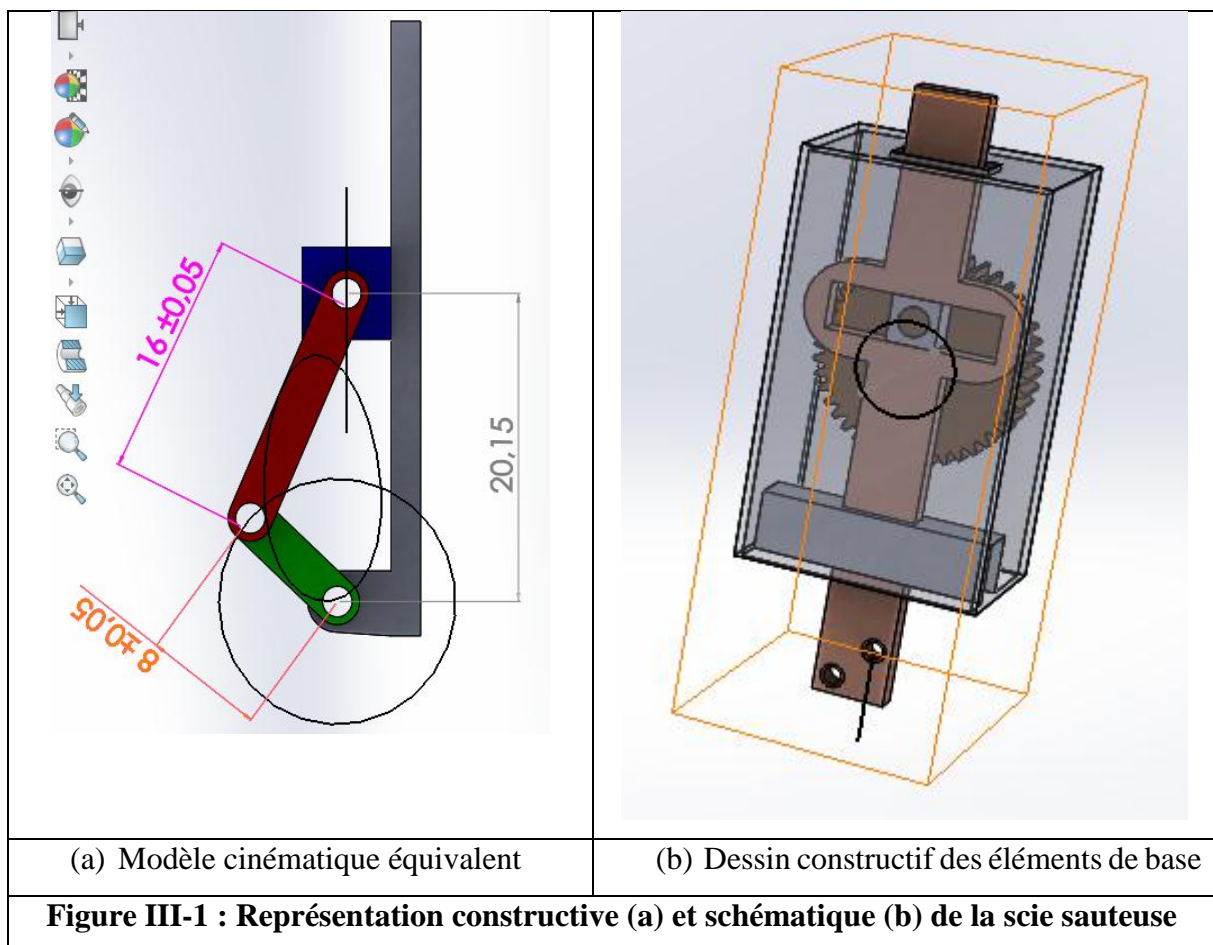
De plus, le logiciel de simulation de mouvement donne aussi les forces et moments de réaction sur chaque contrainte. Cette information donne à l'utilisateur une idée du couple

nécessaire pour entraîner son mécanisme et cela en fonction des conditions d'emploi ainsi que le type de matériau à scier.

Les forces de réaction et forces agissant sur chaque composant peuvent être exportées vers une analyse de contraintes SolidWorks Simulation pour étudier les effets de ces forces (déformation et contrainte) sur le composant.

Il peut également faciliter le dimensionnement des moteurs et actionneurs nécessaires pour piloter le mouvement du mécanisme.

Dans certains problèmes sur les mécanismes, les charges peuvent être soit connues, soit négligées. Par exemple, dans le cas des systèmes où la vitesse angulaire de rotation est faible, les forces agissant sur les éléments sont faibles et peuvent être négligées. Mais pour un mécanisme fonctionnant à haute vitesse, les forces peuvent être importantes et ne peuvent plus être négligées. Pour déterminer ces forces, on peut utiliser une simulation SolidWorks Motion et exporter ces forces vers une analyse de contraintes SolidWorks Simulation qui permettra d'étudier l'intégrité structurelle des composants [13,14, 15].



III-3 : Etude cinématique du mécanisme à coulisseau de la scie sauteuse

III-3-1 : Solution analytique

Le problème essentiel de la cinématique des mécanismes est l'étude du mouvement des éléments, indépendamment des forces qui agissent sur eux [7].

Cette étude est liée essentiellement à 3 problèmes :

- 1- Recherche des espaces parcourus par les éléments et des trajectoires suivies par les points des éléments.
- 2- Recherche des vitesses des points isolés des éléments et des vitesses angulaires.
- 3- Recherches des accélérations des points isolés et les accélérations angulaires des éléments.

Pour l'étude des mécanismes plans, nous utilisons la Méthode des contours vectoriels Fermés qui consiste à remplacer chaque élément par un vecteur (**V. ZINOVIEV**)

III-3-2 : Etude cinématique du mécanisme à coulisseau et manivelle

Pour le mécanisme de la figure ci-dessous :

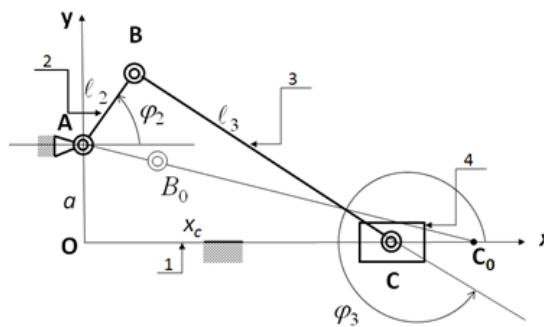
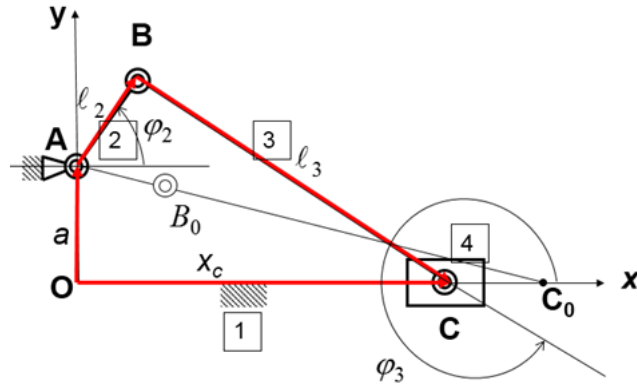


Figure III-2 : Schéma du mécanisme à coulisseau et manivelle dans lequel l'axe de guidage ne passe pas par l'axe de rotation de la manivelle.



Considérons le contour OABCO comme la somme des vecteurs dans le sens horaire :

$$\vec{a} + \vec{l}_2 + \vec{l}_3 = \vec{x}_C \quad (\text{III-1})$$

En projetant cette équation vectorielle sur les axes Ox et Oy, on aura :

$$\left. \begin{aligned} l_2 \cos \varphi_2 + l_3 \cos \varphi_3 &= x_C \\ a + l_2 \sin \varphi_2 + l_3 \sin \varphi_3 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (\text{III-2})$$

2)

$$\text{Il en dérive que : } \sin \varphi_3 = - \left(\frac{a + l_2 \sin \varphi_2}{l_3} \right) \quad (\text{III-3})$$

$$\text{De même : } x_C = l_2 \cos \varphi_2 + l_3 \sqrt{1 - \left(\frac{a + l_2 \sin \varphi_2}{l_3} \right)^2} \quad (\text{III-4})$$

4)

Dans certaines applications, il est commode de mesurer l'espace parcouru par le coulisseau 4 à partir de la position extrême droite du mécanisme lorsque le point C se trouve en C_0 , ce qui nous donne :

$$x(\text{course}) = OC_0 - x_C = \sqrt{(l_2 + l_3)^2 - a^2} - l_2 \cos \varphi_2 - l_3 \sqrt{1 - \left(\frac{a + l_2 \sin \varphi_2}{l_3} \right)^2}$$

(III-5)

Pour déduire les équations des vitesses et des accélérations angulaires, on peut procéder à la dérivation des équations (9) par rapport à la coordonnée généralisée φ_2 .

- Pour la vitesse angulaire ω_3 de la bielle 3 et la vitesse linéaire V_c du coulisseau 4 on aura :

$$\left. \begin{aligned} -\ell_2 \sin \varphi_2 - i_{32} \ell_3 \sin \varphi_3 &= V_{C_4} \\ \ell_2 \cos \varphi_2 + i_{32} \ell_3 \cos \varphi_3 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad \text{(III-5)}$$

$$\text{Avec : } i_{32} = \frac{d\varphi_3}{d\varphi_2} \quad \text{et} \quad V_{C_4} = \frac{dx_c}{d\varphi_2}$$

On déduit la vitesse V_{C_4} de la première équation en remplaçant i_{32} par sa valeur tirée de la deuxième équation, on obtient :

$$i_{32} = -\frac{\ell_2 \cos \varphi_2}{\ell_3 \cos \varphi_3} \quad \text{et} \quad V_{C_4} = \ell_2 \frac{\sin(\varphi_3 - \varphi_2)}{\cos \varphi_3} \quad \text{(III-6)}$$

- Pour l'accélération angulaire $(i_{32})'$ de la bielle 3 et l'accélération linéaire a_{C_4} du coulisseau 4 faisons la dérivation des équations (13) par rapport à φ_2 :

$$\left. \begin{aligned} -\ell_2 \cos \varphi_2 - (i_{32})^2 \ell_3 \cos \varphi_3 - (i_{32})' \ell_3 \sin \varphi_3 &= a_{C_4} \\ -\ell_2 \sin \varphi_2 - (i_{32})^2 \ell_3 \sin \varphi_3 + (i_{32})' \ell_3 \cos \varphi_3 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad \text{(III-7)}$$

$$\text{Où} \quad (i_{32})' = \frac{di_{32}}{d\varphi_2} \quad \text{et} \quad a_{C_4} = \frac{dV_{C_4}}{d\varphi_2}$$

- De la deuxième équation on peut tirer :

$$(i_{32})' = \frac{\ell_2 \sin \varphi_2 + (i_{32})^2 \ell_3 \sin \varphi_3}{\ell_3 \cos \varphi_3} \quad \text{(III-8)}$$

On porte ensuite la valeur de l'accélération $(i_{32})'$ dans la première équation et on détermine la valeur de l'accélération du coulisseau 4 (a_{C_4}) :

$$a_{C_4} = -\ell_2 \cos \varphi_2 - (i_{32})^2 \ell_3 \cos \varphi_3 - \frac{(\ell_2 \sin \varphi_2 + (i_{32})^2 \ell_3 \sin \varphi_3)}{\ell_3 \cos \varphi_3} \cdot \ell_3 \sin \varphi_3$$

(III-9)

- Les vraies vitesses V_c et ω_3 et les vraies accélérations a_c et ε_3 sont égales à :

Vitesses	Accélérations
$V_C = \omega_2 \cdot V_{C_4}$ $\omega_3 = \omega_2 \cdot i_{32}$	$a_C = \omega_2^2 \cdot a_{C_4} + \varepsilon_2 \cdot V_{C_4}$ $\varepsilon_3 = \omega_2^2 \cdot (i_{32})' + \varepsilon_2 \cdot i_{32}$

Afin d'exploiter les performances de SolidWorks Simulation (logiciel de CAO que le département vient d'acquérir) nous avons pris la scie sauteuse (exemple de mécanisme plan) pour lequel nous avons réalisé une étude cinématique et dynamique.

Les caractéristiques cinématiques et géométriques du système sont données par le tableau suivant :

Paramètres géométriques	Paramètres cinématiques
Diamètre roue (qui correspond à la longueur de la bielle) $\ell_3 = 16 \text{ mm}$	Vitesse angulaire $\omega_2 = 6.28 \text{ rd/s}$ (correspond à $N=60 \text{ tr/min}$)
Longueur manivelle $\ell_2 = 8 \text{ mm}$	
Angle φ_2 : angle de rotation manivelle (moteur).	

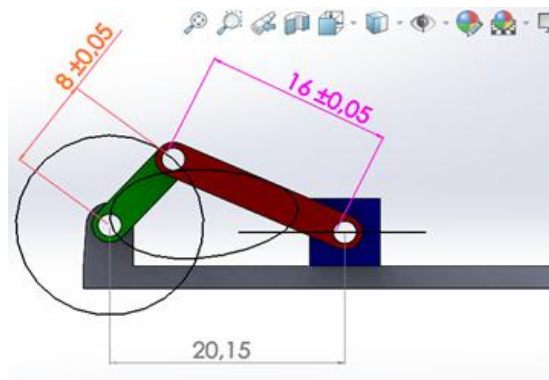


Figure III-3 : Schéma du mécanisme à coulisseau et manivelle dans lequel l'axe de guidage ne passe pas par l'axe de rotation de l'élément moteur (cas de la scie sauteuse).

On va utiliser SolidWorks Motion Simulation pour effectuer l'analyse de mouvement de l'assemblage représenté par la figure III-1. La pièce verte articulée reçoit un mouvement angulaire avec une vitesse en rd/s (ω) ; à partir duquel on va calculer la vitesse angulaire et l'accélération des autres éléments en fonction du temps. Nous allons aussi calculer le couple nécessaire pour créer ce mouvement.

Ce modèle représente une configuration simplifiée d'une scie sauteuse élaborée à partir de son schéma cinématique minimal. La partie fixe (représentée par la pièce grise) est la première classe d'équivalence qui sera utilisé pour placer le référentiel d'étude. Elle change de position selon l'utilisateur. Les 3 autres éléments articulés sont reliés entre eux et à la base par des axes. La manivelle et le coulisseau ont des mouvements selon un plan et une rotation autour de l'axe qui est perpendiculaire à ce plan (il s'agit ici d'un mécanisme plan comme il a été déjà évoqué.

Lors de la modélisation de ce mécanisme dans SolidWorks, nous créons des contraintes pour mettre les pièces en place. SolidWorks Motion traduit automatiquement ces contraintes en connexions internes. Chaque contrainte a plusieurs degrés de liberté associés. Par exemple, une contrainte concentrique a deux degrés de liberté (translation et rotation autour de son axe).

III-4 : Etapes de la simulation

Les étapes nécessaires dans cette étude sont données ci-dessous

III-4-1 : Passage à SolidWorks Motion Manager

Passez à SolidWorks Motion en cliquant sur l'onglet Animation1 dans le coin inférieur gauche.

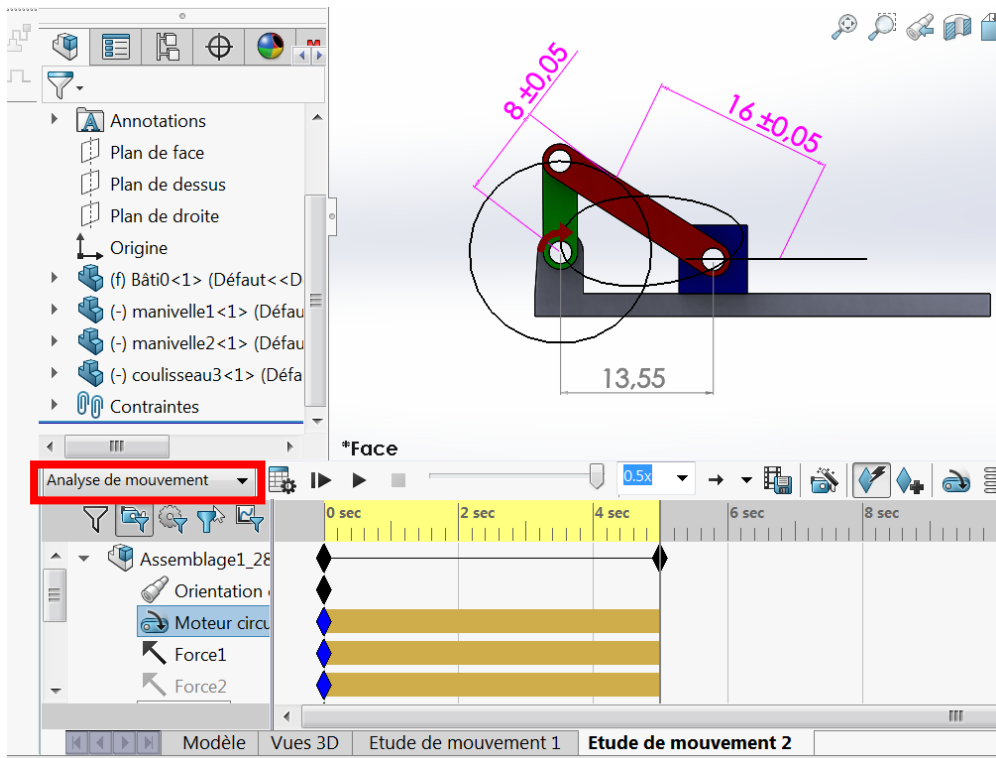


Figure III-4 : Analyse de mouvement dans SolidWorks motion

III-4-2 : Composants fixes et mobiles

<p>Les composants fixes et mobiles dans SolidWorks Motion sont déterminés par leur état Fixe/Libéré dans le modèle SolidWorks. Dans notre cas, le composant Base est fixe tandis que les 3 autres éléments se déplacent</p>	<p>The image shows the Feature Tree from Figure III-4. A red box highlights the components: (f) Bâti0<1> (Défaut), (-) manivelle1<1> (Défaut), (-) manivelle2<1> (Défaut), and (-) coulisseau3<1> (Défaut). The 'Contraintes' (Constraints) folder is also visible at the bottom.</p>
--	---

Figure III-5 : Assemblage des éléments de base de la scie sauteuse

III-4-3 : Création automatique de connexions internes à partir des contraintes d'assemblage SolidWorks

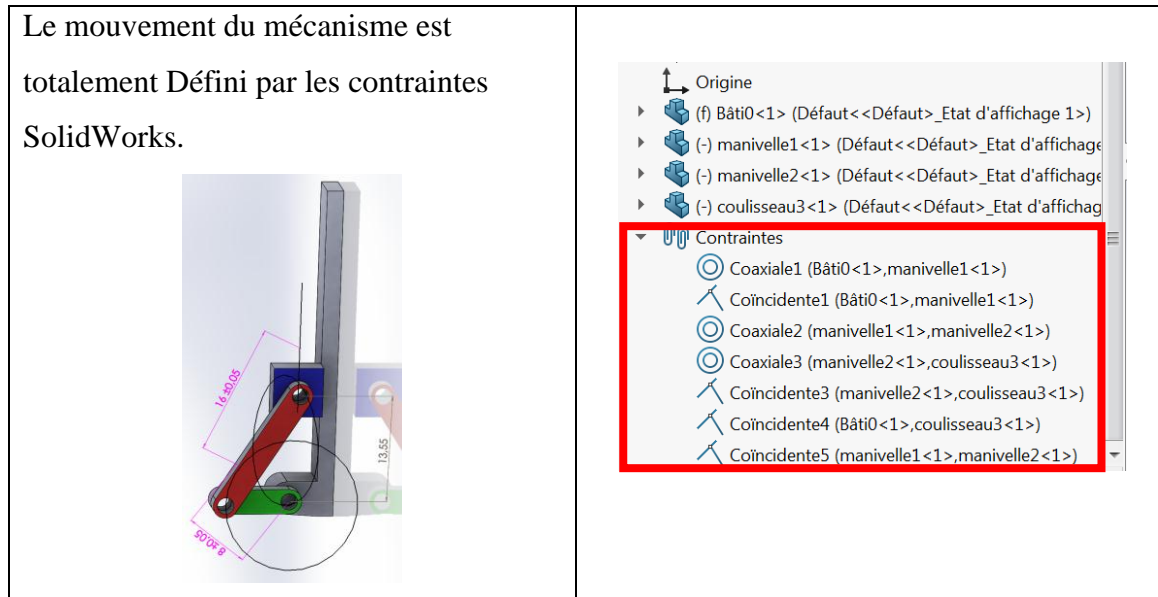


Figure III-6 : Création automatique de connexions internes à partir des contraintes d'assemblage SolidWorks

III-4-4 : Spécification du mouvement d'entrée

Nous allons ensuite définir un mouvement sur la roue motrice. Dans notre cas, nous voulons faire pivoter la manivelle avec une vitesse donnée autour de la Base (bâti). Pour cela, nous allons imposer un mouvement rotatif à la roue à l'emplacement de la contrainte concentrique qui simule la connexion par axe avec le bâti. Le mouvement angulaire doit se faire avec une vitesse qu'on va introduire (exemple 60 tr/min).

Cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur l'icône **Moteur** pour ouvrir la boîte de Dialogue **Moteur**.

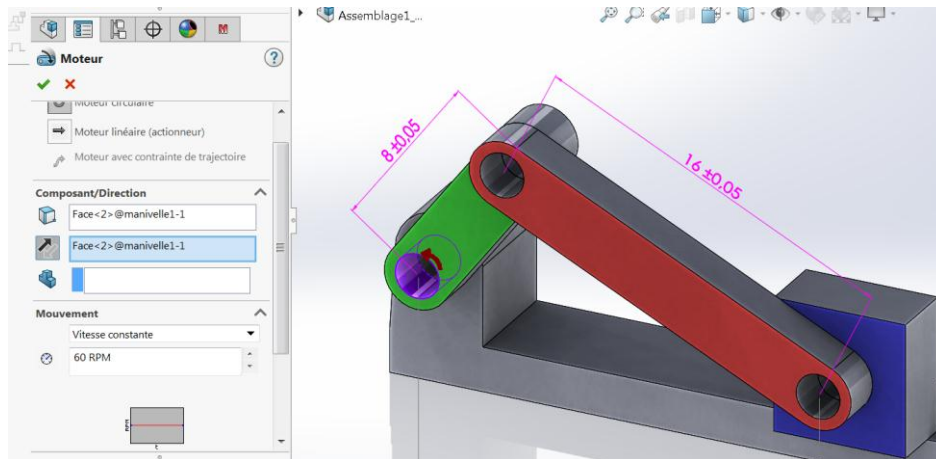


Figure III-7 : Identification de l'élément moteur

Sous **Type de moteur**, sélectionnez **Moteur circulaire**. Sous **Composant/Direction**, sélectionnez la face cylindrique de la manivelle (pièce verte) attachée au bâti (voir la figure). Le centre de la face cylindrique sélectionnée détermine également l'emplacement par défaut du moteur.

Sous **Mouvement**, sélectionnez Vitesse **constante**, et entrez la valeur de la vitesse en RPM (tour/min) :

Une fois les données sont introduites nous cliquons sur **OK** pour fermer la boîte de dialogue **Moteur**.

III-4-5 : Type d'analyse de mouvement

SolidWorks propose trois types de simulation de mouvement d'assemblage :

1- L'Animation est une simulation de mouvement simple qui ignore les propriétés d'inertie, les contacts, les forces et autres éléments similaires des composants. Elle est idéale pour vérifier, par exemple, les contraintes correctes.

2- La Simulation de mouvement standard assure un bon réalisme en prenant en compte, par exemple, les propriétés d'inertie des composants. En revanche, elle ne reconnaît pas les forces appliquées en mode externe.

3- L'outil Analyse de mouvement est le plus évolué des outils d'analyse de mouvement, il reflète tous les éléments d'analyse requis, par exemple propriétés d'inertie, forces externes, contacts, frottement de contrainte, etc. (c'est que nous avons utilisé).

Sous **Type d'étude** dans la partie gauche de SolidWorks Motion Manager, Sélectionnez **Analyse de mouvement.**

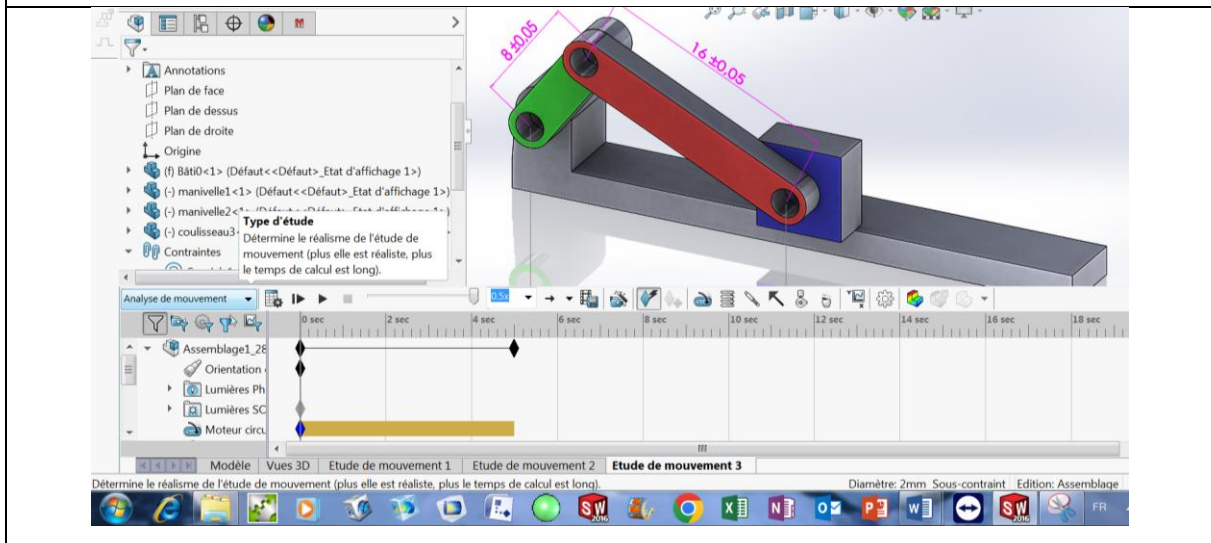


Figure III-8 : choix du type d'étude (analyse de mouvement)

III-4-6 : Durée de la simulation

La durée de la simulation de mouvement est pilotée par la ligne de temps supérieure dans SolidWorks Motion Manager. Puisque SolidWorks Motion définit la durée d'analyse par défaut à 5 secondes, nous devons modifier ce paramètre.

Déplacez la clé d'heure de fin, sur la ligne de temps supérieure, de 5 secondes au temps voulu.

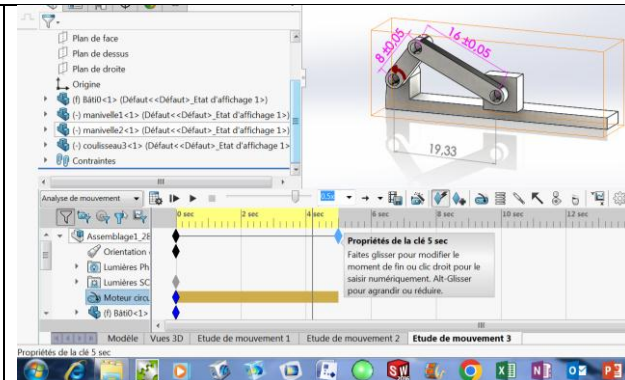


Figure III-9 : Introduction de la durée de simulation

III-4-7 : Exécution de la simulation

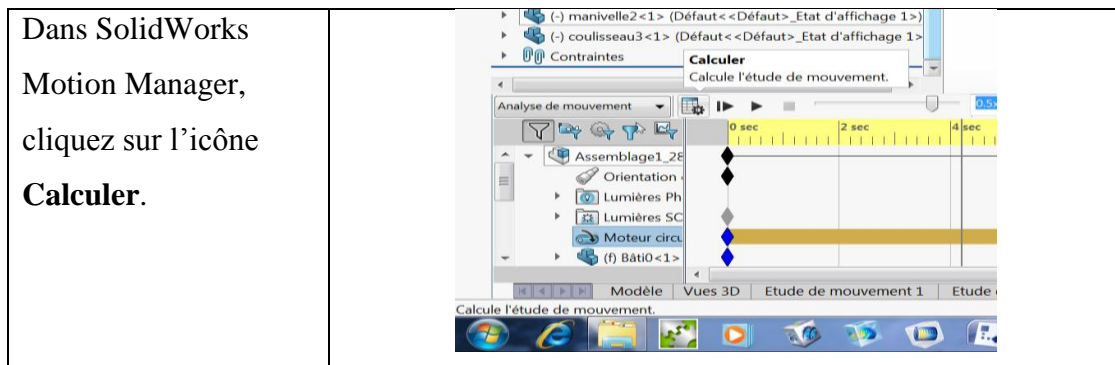


Figure III-10 : Exécution de la simulation

III-4-8 : Exploitation de l'étude (extraction des résultats)

III-4-8-1 : Recherche des paramètres cinématiques du mécanisme.

Commençons par l'élément moteur :

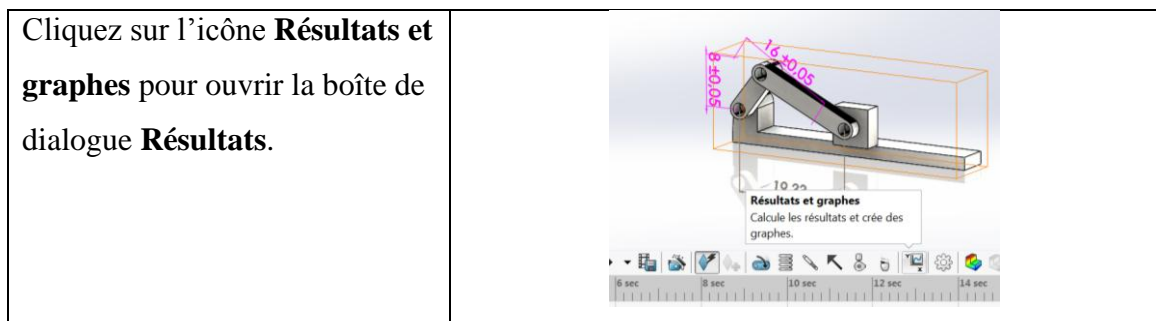


Figure III-11 : Exploitation de l'étude

Sous **Résultats**, sélectionnez **Déplacement/Vitesse/Accélération, Accélération angulaire** et **Amplitude**.

Toujours sous **Résultats**, sélectionnez **bleue**. (Lorsque vous sélectionnez une contrainte ou une pièce, SolidWorks Motion affiche le système de coordonnées par défaut qui servira pour la sortie des résultats).

Le **Composant pour définir les directions XYZ (facultatif)** sert à référencer nos tracés de résultats par rapport au système de coordonnées local d'un autre composant mobile.

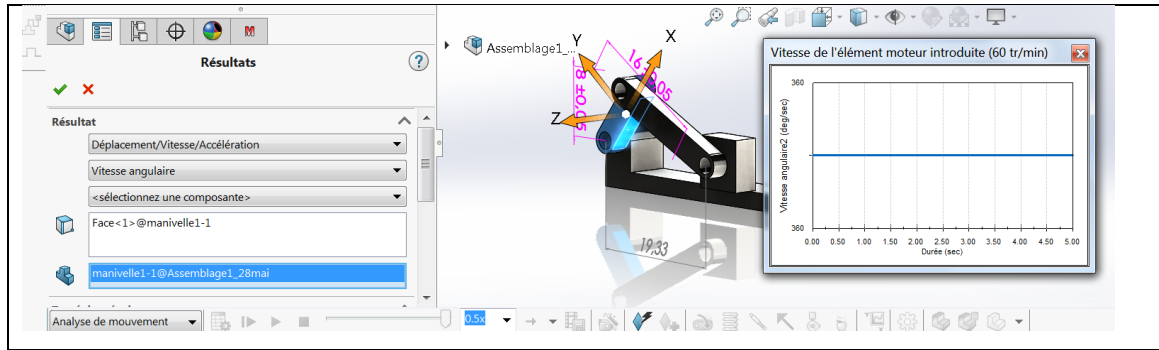


Figure III-12 : Choix du type de résultats

Comme nous pouvons le constater la vitesse angulaire est constante et est égale à 360 deg/seconde (=60 RPM).

Recherchons maintenant les paramètres cinématiques de l'élément moteur (la manivelle).

III-4-8-1-1 : Vérification des vitesses angulaire et linéaire de la manivelle

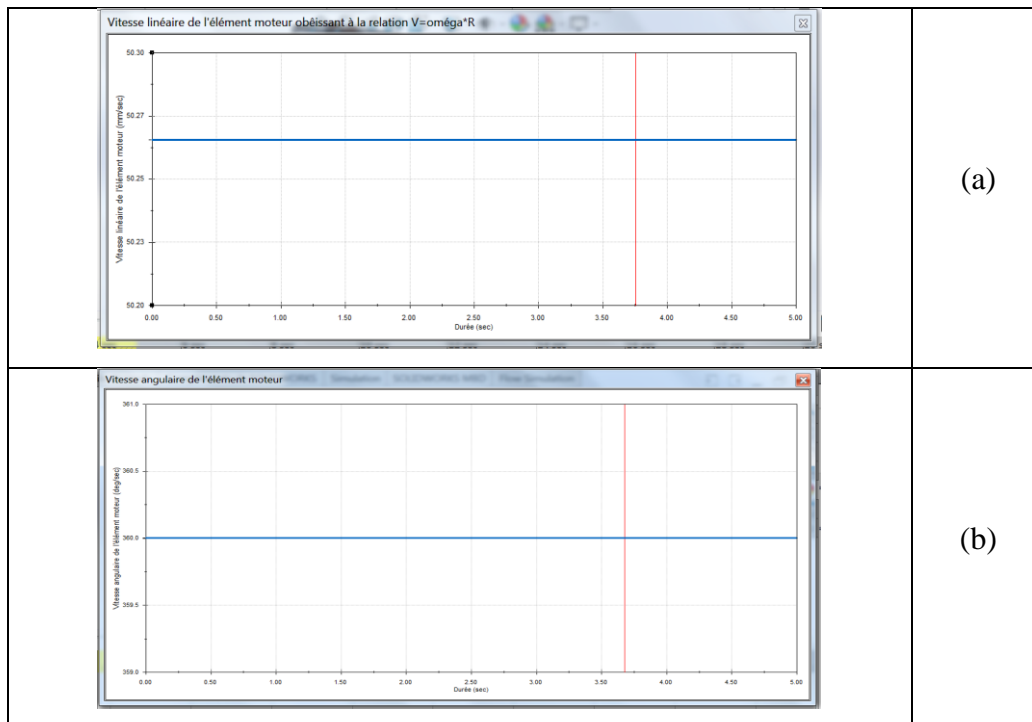


Figure III-13: La vitesse linéaire (a) et angulaire (b) du centre de l'extrémité haute de la manivelle.

Vitesse linéaire centre liaison SolidWorks= 50.265 mm/s

Vitesse linéaire centre liaison Solution analytique= 50.24 mm/s

Comme nous pouvons le constater, nous avons enregistré, sur le calcul de la vitesse linéaire de l'élément moteur, une erreur de $5 \cdot 10^{-4} \%$ ce qui veut dire que scientifiquement parlant, on retrouve bien la solution exacte.

En ce qui concerne la vitesse angulaire de l'élément moteur introduite lors de la simulation par Solidworks Motion et qui est 60 tr/min, la **figure III-13 (b)** montre clairement qu'il s'agit de la valeur exacte de $360^\circ/\text{sec}$ (soit 60 tr/min).

III-4-8-2 : Positions instantanées des éléments en mouvement :

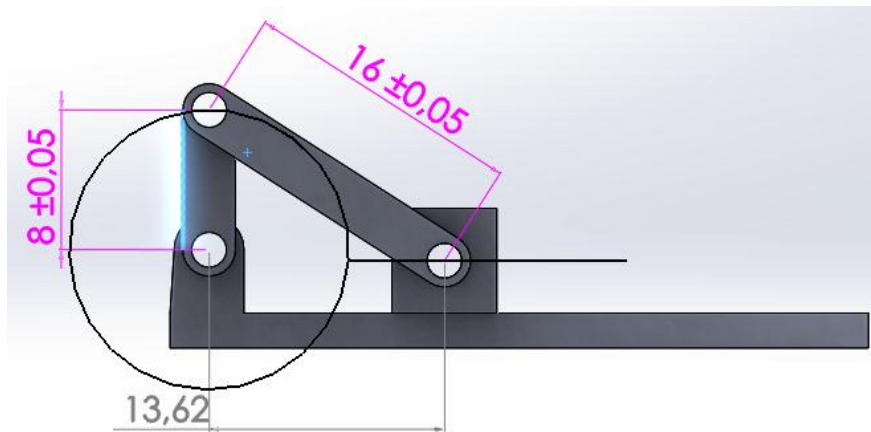
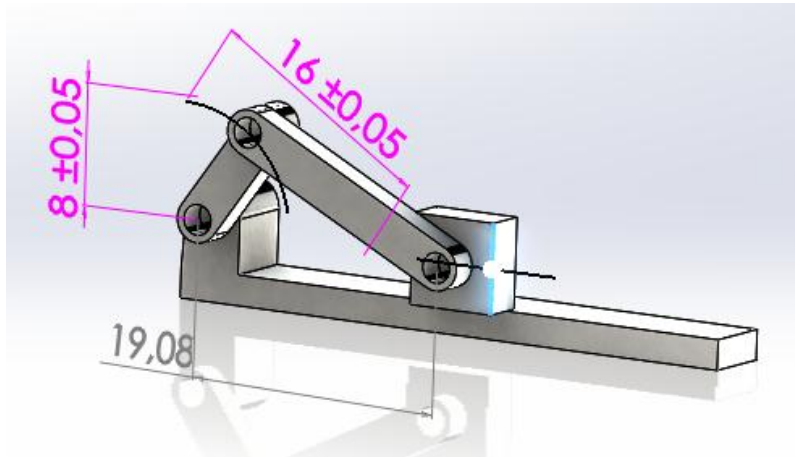


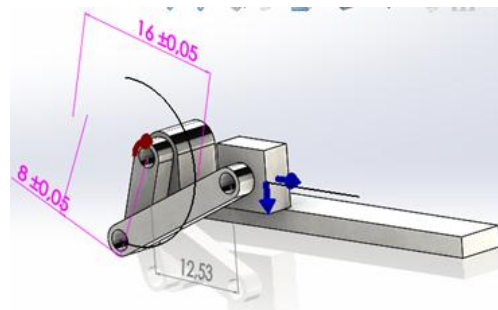
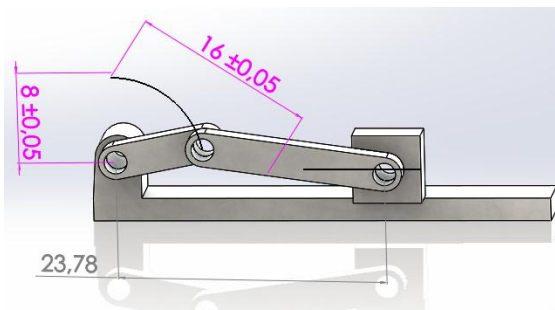
Figure III-14 : Trajectoires des centres des liaisons pivots (manivelle-bielle et bielle-porte lame)

Sur la figure III-14 on retrouve la trajectoire du centre de liaison pivot (bielle/manivelle) qui est un cercle de rayon 8 (rayon manivelle) et de centre celui de la liaison pivot et on trouve également la trajectoire du centre de liaison (bielle/coulisseau) et qui caractérise le mouvement de va et vient du coulisseau (ici porte lame).

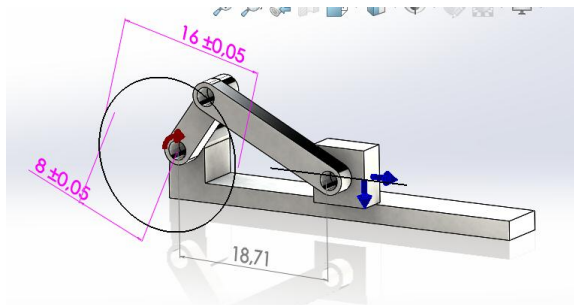
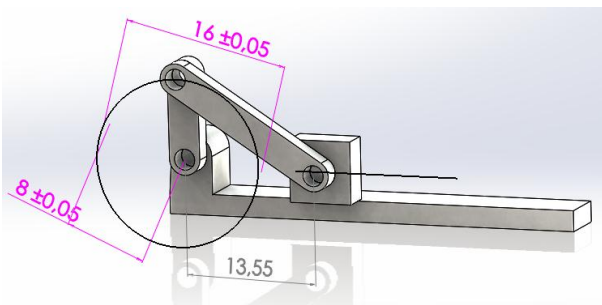
Le résultat de cette figure traduit, clairement et bien, la loi entrée-sortie recherchée par ce mécanisme et dont l'objectif est de transformer la rotation du moteur (Entrée : cercle de rayon 8 mm) en mouvement alternatif du coulisseau (porte lame : la course = $2 \cdot \text{rayon_manivelle}$: $C = 16$ mm).



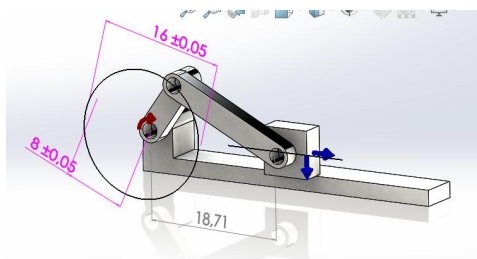
(a) Début du mouvement



(b) Positions intermédiaires



(c) : Après un tour complet



(d) : Mouvement sinusoïdal

Figure III-15 : Positions instantanées du mécanisme de base de la scie sauteuse

Les figures III-14 (a), (b), (c) et (d) représentent respectivement les positions instantanées du mouvement circulaire de l'élément moteur (manivelle) et qui correspond bien à un cercle de rayon R égale à la longueur ℓ_2 (=8 mm) de la manivelle.

Sur les mêmes figures nous observons également le tracé de la trajectoire du coulisseau qui correspond à un déplacement linéaire de va et vient entre deux position extrêmes (point mort haut et le point mort bas).

III-4-9 : Détermination de la trajectoire du coulisseau (porte lame)

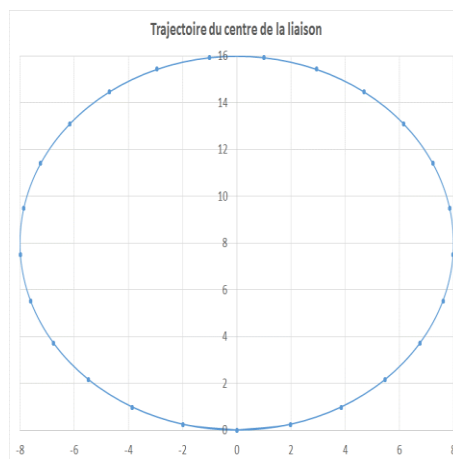


Figure III-16. : Trajectoire circulaire du centre de la liaison pivot.

Rayon trajectoire SolidWorks Motion = 7.984 mm

Rayon trajectoire Solution analytique = 8 mm

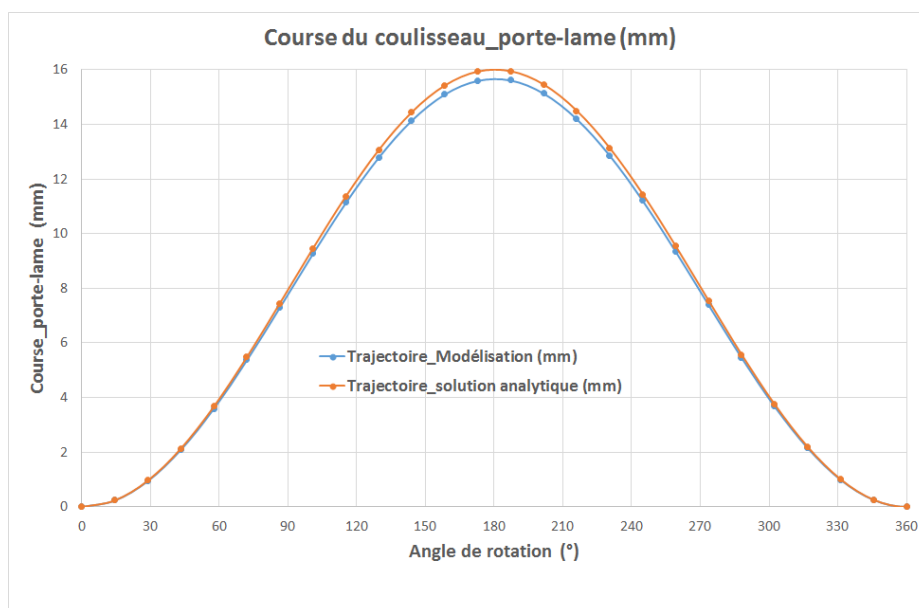


Figure III-17 : Course du coulisseau (porte lame) pour un tour complet

La solution analytique de l'équation donnant la position instantanée du piston (course du piston) et qui correspond à la différence entre les positions extrêmes du piston et qui est théoriquement égale à deux fois la longueur de la manivelle soit exactement égale à 16 mm.

La valeur trouvée par le biais de SolidWorks Motion est de 15.968 mm (course entre les positions extrêmes PMB et PMH= $2 \cdot 7.984 = 15.968$ mm) (figure III-15) soit une erreur relative négligeable de l'ordre de $2 \cdot 10^{-3}$ %.

Nous constatons également un léger décalage de la courbe de la trajectoire qui est dû essentiellement au rapport dimensionnel de la manivelle sur la bielle. Cette différence disparaît au fur et à mesure que le rapport entre ces éléments augmente ($(\ell_2/\ell_3) \geq 3$).

Ainsi, la solution trouvée par SolidWorks est sensiblement identique à la solution analytique (exacte).

III-4-10 : Vitesse du coulisseau (porte-lame)

Dans un mécanisme à coulisseau (analogue à un système bielle manivelle), à une vitesse constante (à l'entrée) de la manivelle correspond une vitesse de forme sinusoïdale du déplacement et de la vitesse (à la sortie).

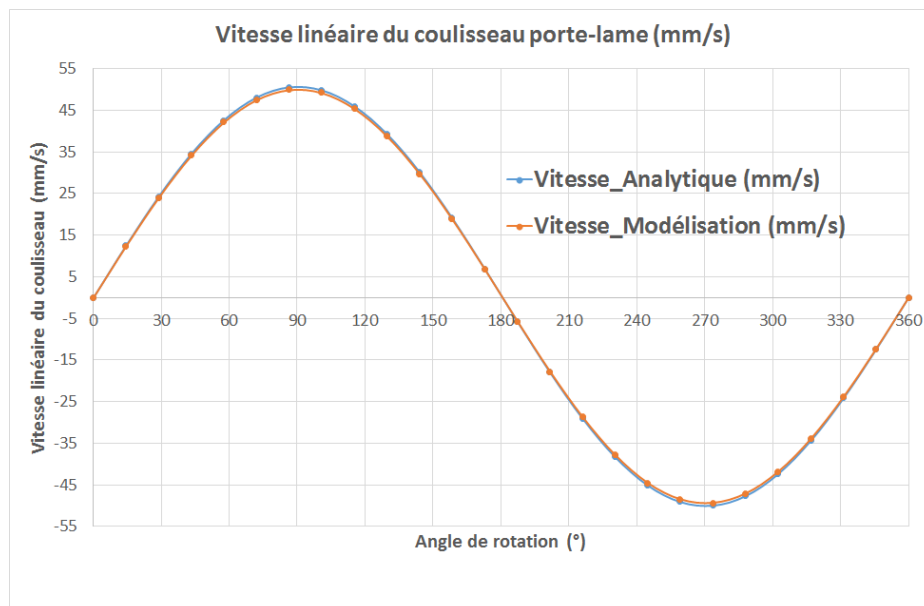


Figure III-18 : Vitesse linéaire du coulisseau pour un tour complet de la manivelle

La figure III-17 représente la variation de la vitesse linéaire du coulisseau porte-lame pour un tour complet de la manivelle (de forme sinusoïdale et dont les valeurs extrêmes (solution analytique) sont respectivement +50,42 mm/s à 90° et -50.42 mm/s à 270° de la manivelle.

Les vitesses données par SolidWorks Motion (Simulation) sont $\pm 49,92$ mm/min à 90° et 270° de la manivelle soit une erreur relative de l'ordre de 0.6%.

On observe également sur les graphes qu'à chacun des "points morts" haut et bas la vitesse est nulle.

III-4-11 : Accélération du coulisseau (porte-lame)

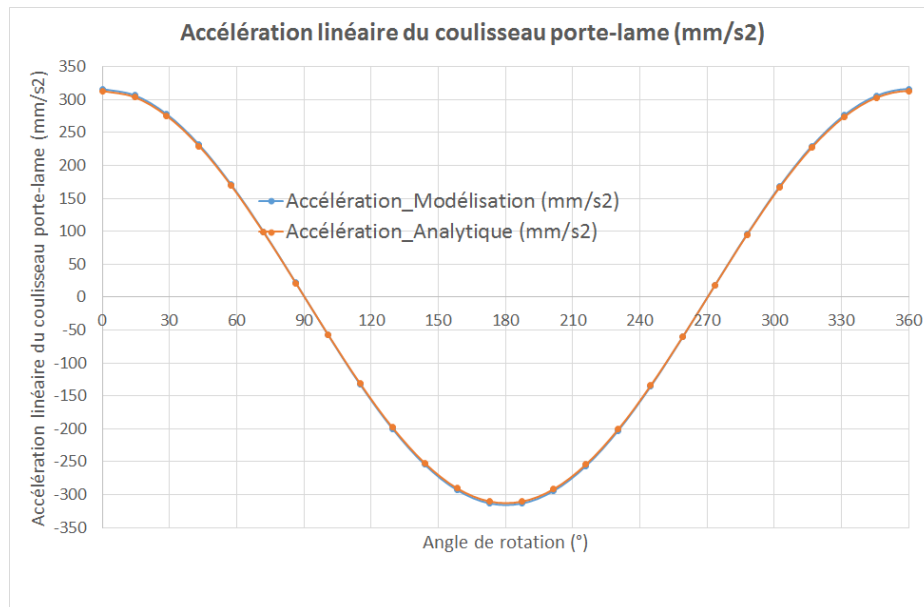


Figure III-19 : Accélération linéaire du coulisseau porte-lame pour un tour complet

L'expression de l'accélération d'un point du coulisseau (porte-lame) est trop complexe pour pouvoir être exploitée ici, mais les effets d'inertie qu'elle engendre sont très importants et limitent la vitesse de rotation de la manivelle.

L'erreur relative enregistrée dans le calcul de l'accélération linéaire du coulisseau, au début et à la fin de la course, est de l'ordre de 0.05% par contre celle trouvée au milieu (à 180°) est de 0,5% qui vaut pratiquement 10 fois la première erreur.

Ce type de calcul confirme encore les difficultés trouvées dans la détermination des accélérations lors de la transformation de mouvement (rotation en translation).

III-4-12 : Positions des centres de gravité de la manivelle et du coulisseau

L'allure des courbes des trajectoires (figure III-19) des deux centres de gravité celui du coulisseau (porte-lame) ainsi que de la manivelle est sinusoidale, ce qui correspond bien à la solution analytique.

Cela confirme bien la fiabilité de SolidWorks Motion dans l'étude de la simulation des systèmes mécaniques.

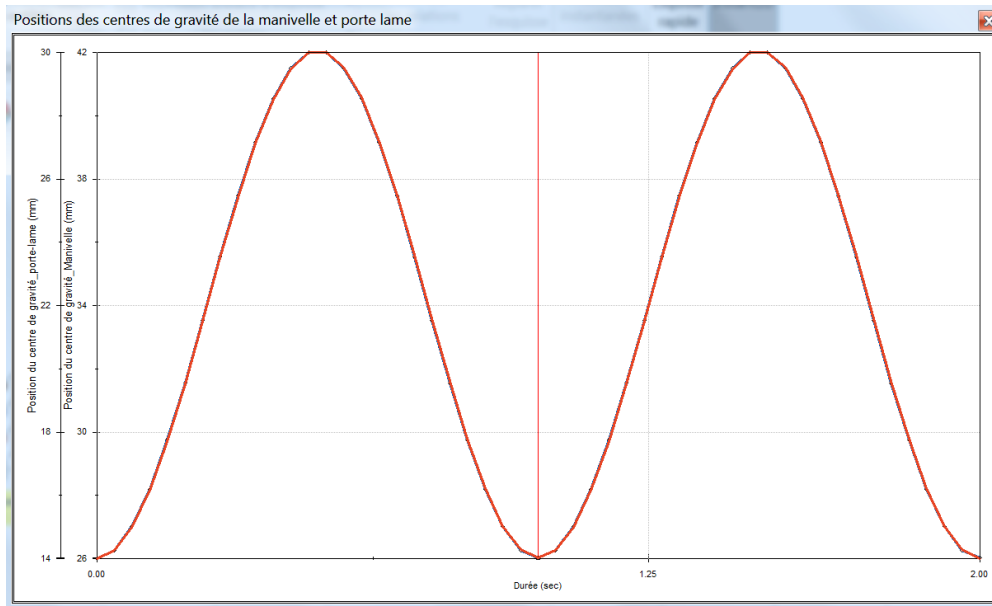


Figure III-20 : Position des centres de gravité du coulisseau (porte-lame) et de la manivelle

La figure III-20 nous donne une idée sur la capacité de SolidWorks à associer plusieurs résultats dans le même graphique.

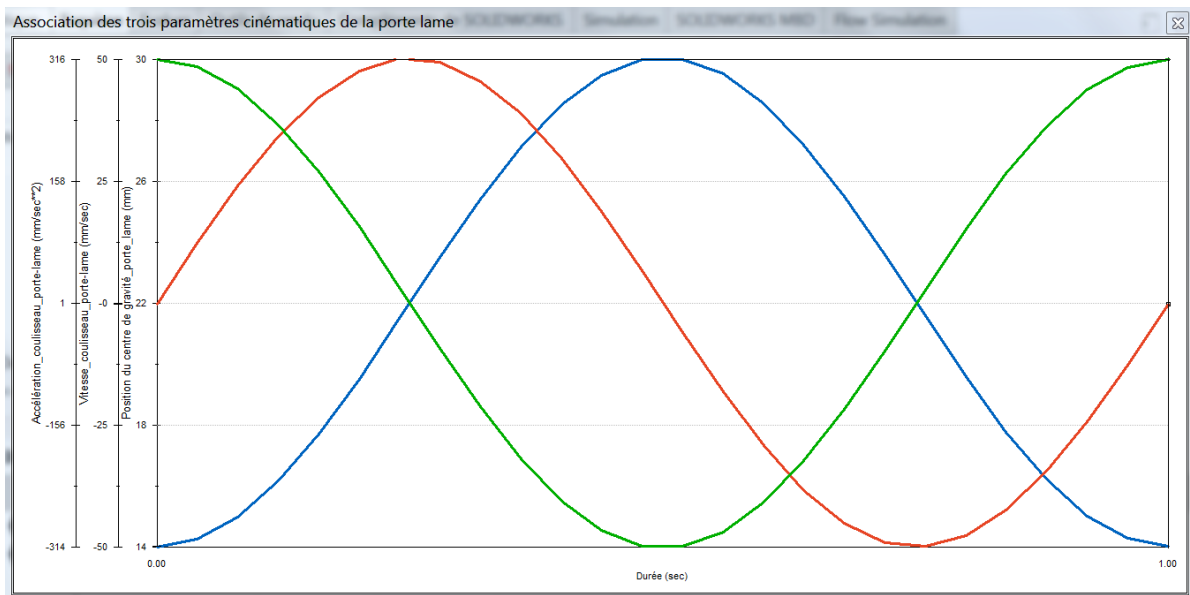


Figure III-21 : Association des trois courbes de l'étude cinématique du coulisseau (porte-lame)

La figure III-20 montre clairement la flexibilité de SolidWorks Simulation dans la représentation graphique des résultats ; puisqu'il est possible d'associer plusieurs courbes, pour des fins comparatives, dans une même représentation ; ce qui rend l'interprétation plus aisée.

III-5 : Etude mécanique du coulisseau porte-lame

Le mécanisme à coulisseau (comme étant un système de transformation de mouvement) représente sans doute l'une des plus importantes innovations du XV^e siècle.

Ce mécanisme, analogue au système bielle-manivelle [16] désigne un système mécanique doté de deux pièces mécaniques qui sont le coulisseau (porte-lame) et la manivelle. Ainsi, il permet de convertir le mouvement linéaire du coulisseau en une rotation continue avec la manivelle et vice versa.

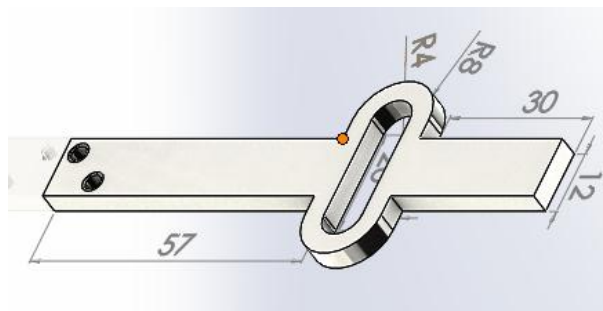
Ce système est conçu pour être robuste afin de résister aux différentes forces qu'il subit. La pièce maîtresse composant ce système est le porte-lame, c'est une pièce mécanique reliant deux articulations d'axes mobiles et permettant la transmission des forces de sciage. Elle est conçue en acier allié.

Etant donné que le coulisseau porte-lame représente l'élément le plus sollicité de la scie sauteuse, il a fait l'objet de nombreuses études de recherche [17, 18, 19] en raison de son rôle dans les systèmes mécaniques qui consiste en la transformation d'un mouvement rectiligne de translation en un mouvement de rotation tout en supportant des sollicitations en traction et compression sévères. Dans cette partie d'étude, on va s'intéresser spécialement, à l'étude du comportement mécanique de coulisseau sous chargement statique au moyen d'un outil très performant, il s'agit de SolidWorks Simulation

III-5-1 : Etude statique de la bielle

SolidWorks simulation va nous permettre de réaliser des analyses de fatigue ; regardons ce que ce type d'analyses peut apporter à notre cas.

La porte-lame travaillant en compression et flexion mais aussi en thermique et dynamique dû à la rotation du moteur et à la vibration [20].



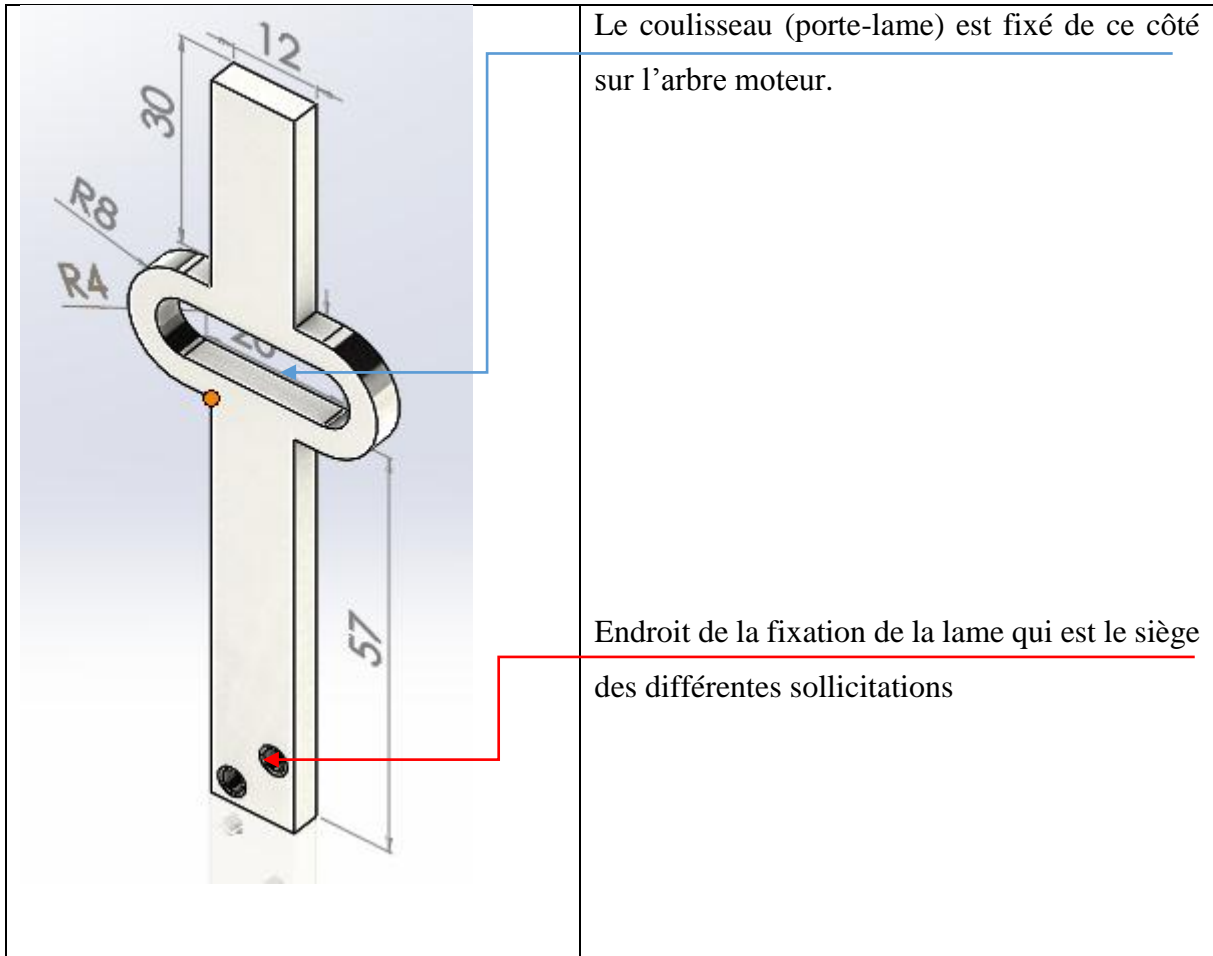
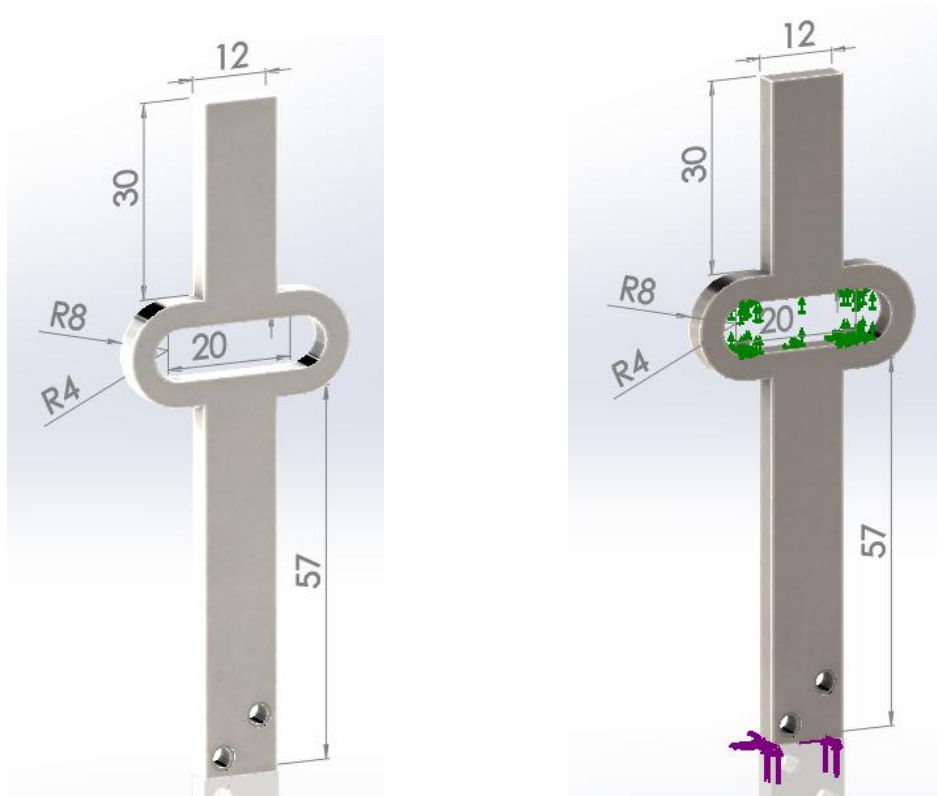


Figure III-22 : Dessin du coulisseau porte-lame sous SolidWorks



-400 N en compression (Dir 3/Y) ; 500 N en flexion (Dir 2/X) ; 150 N (Direction 3/Z)

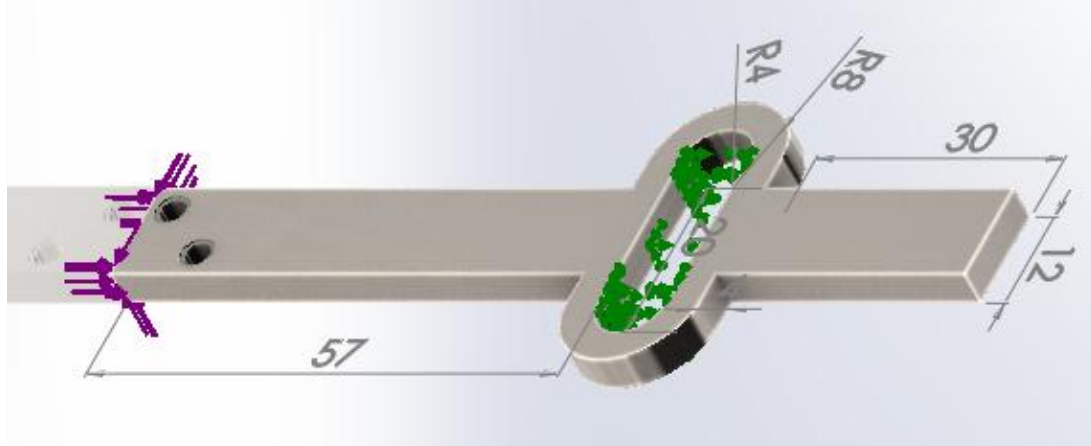


Figure III-23 : Géométrie fixe et chargement du coulisseau sous SolidWorks Simulation

La figure III-22 représente les parties fixe et sollicitée du coulisseau (porte-lame) pour lequel on va lancer une étude statique.

Ainsi, les valeurs introduites en compression et flexion sont choisies de manière à ce que le mécanisme soit placé dans un cas de critique de sollicitations.

Appliquons un maillage avec un contrôle assez fin dans les zones où nous attendons des contraintes maximales.

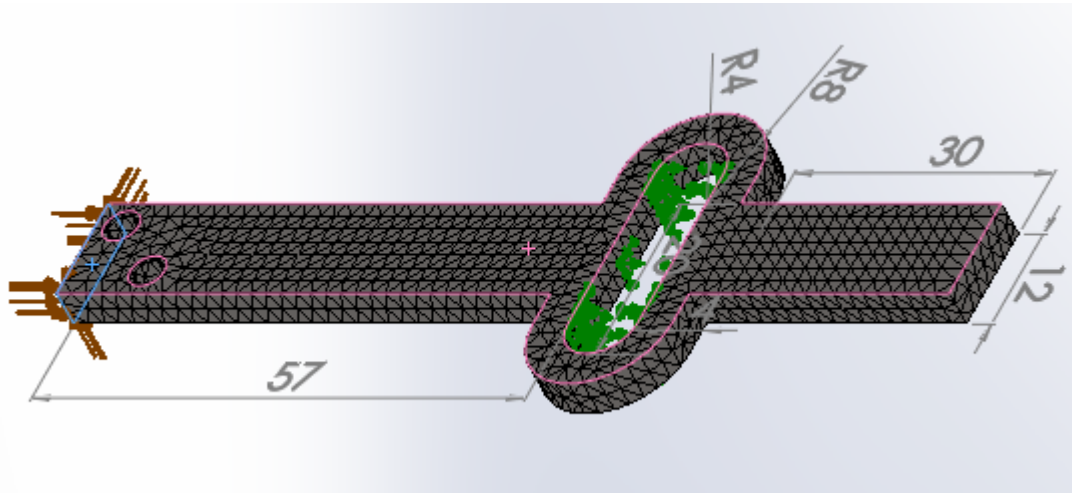


Figure III-24 : Maillage du coulisseau porte-lame

Propriétés du matériau de l'étude : Acier allié.

Module d'élasticité	210000	N/mm ²
Coefficient de Poisson	0.28	
Module de cisaillement	79000	N/mm ²
Masse volumique	7700	kg/m ³
Limite de traction	723.8256	N/mm ²
Limite d'élasticité	620.422	N/mm ²
Coefficient de dilatation thermique	1.3e-005	/K
Conductivité thermique	50	W/(m·K)
Chaleur spécifique	460	J/(kg·K)

Regardons les résultats, nous obtenons un déplacement max 0.8488 mm et une contrainte Von Mises max de 660 MPa.

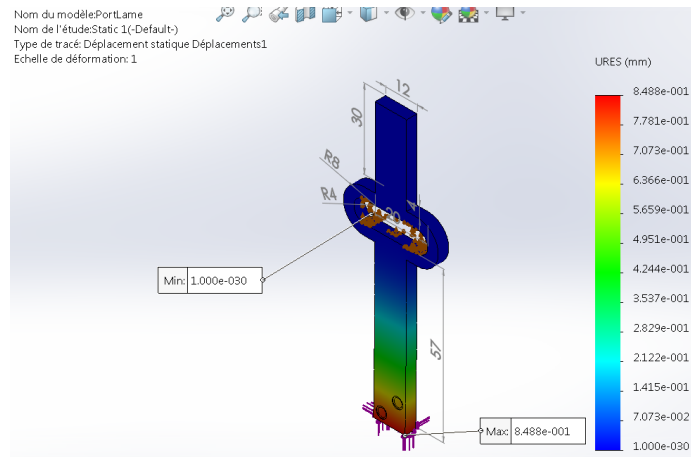


Figure III-25 : Déplacement du coulisseau sous chargement statique

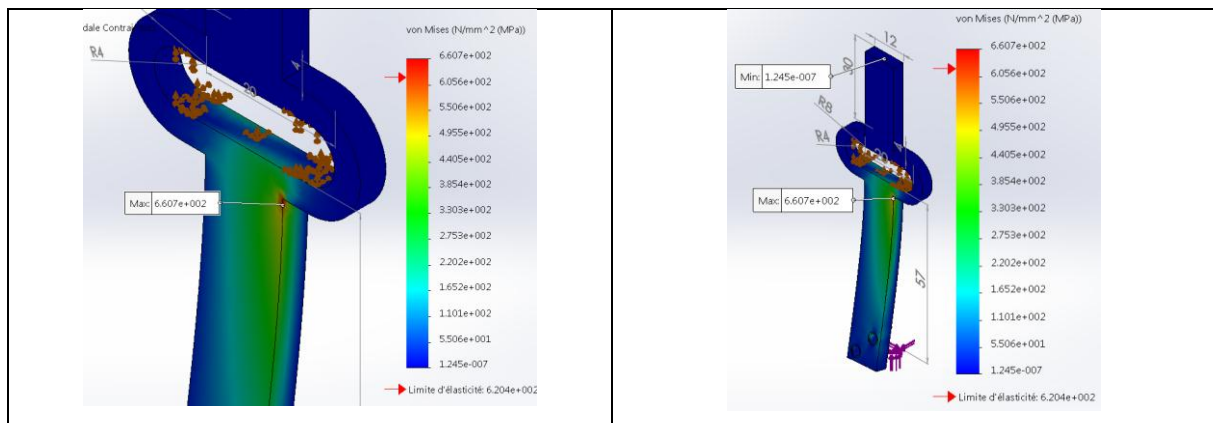


Figure III-26 : Contrainte de Von Mises

Pour une limite d'élasticité de 620 MPa le coefficient de sécurité mini est de 0.939.

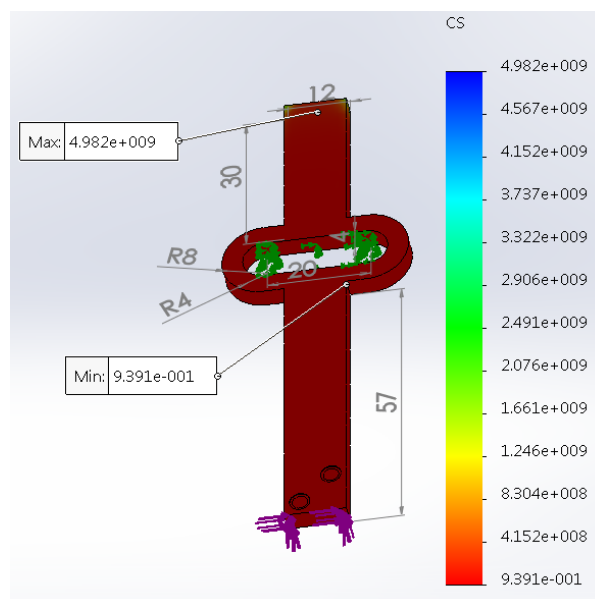


Figure III-27 : Evolution du coefficient de sécurité sous chargement statique

Sous ce chargement (considéré comme sévère) le coulisseau risque la rupture.

III-6 : Conclusion

L'étude réalisée nous a permis de vérifier les différentes équations gouvernant le comportement surtout cinématique du mécanisme à coulisseau dont le comportement cinématique est analogue à un système bielle manivelle et cela par confrontation des solutions analytique avec celles issues de la modélisation.

L'utilisation de SolidWorks, dans le volet cinématique, nous a permis à trouver l'ensemble des paramètres cinématiques des éléments obéissant à la loi entrée-sortie et cela après avoir défini l'élément moteur du mécanisme.

Ainsi, dans SolidWorks Motion & SolidWorks Simulation il est possible de trouver les différents paramètres cinématiques et dynamique tout en définissant la catégorie de résultats à calculer par exemple dans la catégorie des déplacements/Vitesses/Accélération il est possible de trouver les quantités cinématiques suivantes : Tracé de trajectoire, position du centre de gravité de n'importe quel élément, déplacement, vitesse et accélération linéaires ainsi les différents paramètres cinématiques angulaires.

Etant donné que la résistance de la pièce liant la manivelle (porte-lame) au coulisseau et jouant le rôle de la bielle présente un intérêt majeur pour le fonctionnement des mécanismes à coulisseaux tel que les scies sauteuses, une étude détaillée de simulation du comportement de cette pièce, sous chargement statique, a été réalisée sous SolidWorks Simulation.

Chapitre 4

Simulation cinématique de la scie sauteuse sous MECA3D

IV-1 : Introduction

Après la prise en main de SolidWorks et de ses applicatifs Motion et Simulation nous nous sommes intéressés à un autre complément de SolidWorks et qui est MECA3D, ce dernier a été utilisé pour une étude cinématique de notre mécanisme. MECA3D a été employé spécialement pour optimiser le nombre d'éléments mécaniques utilisés lors de la conception du mécanisme à coulisseau. L'optimisation par le biais de MECA3D avait pour objectif :

- De concevoir un système isostatique (annulation de l'hyperstaticité : avoir un $h=0$)
- De vérifier que La Roue/Roue-Connecteur = 60 tr/mn et de retrouver les différents paramètres cinématiques calculés analytiquement,
- De vérifier la loi E/S géométrique définie analytiquement. Entrée : rotation continue de l'excentrique. Sortie : translation rectiligne alternative de la lame.

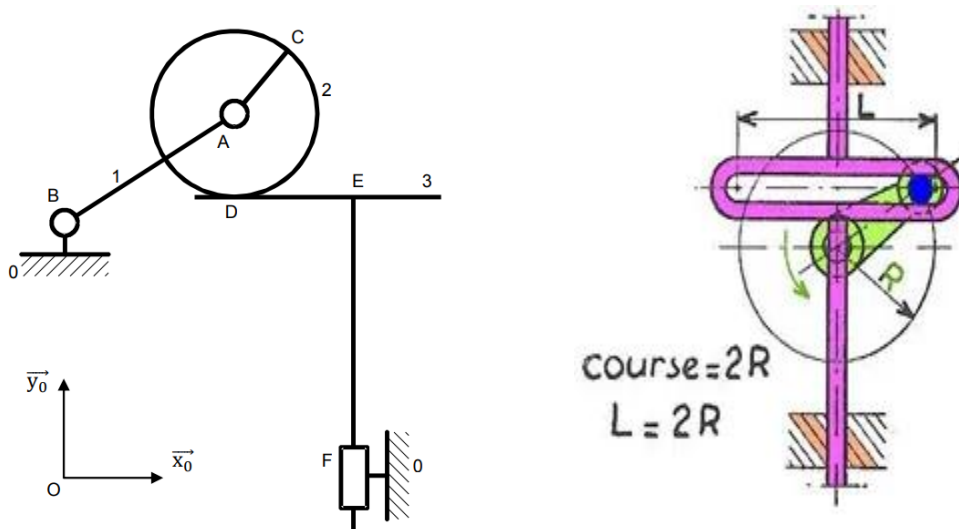


Figure IV-1 : Schéma cinématique et la transformation du mouvement

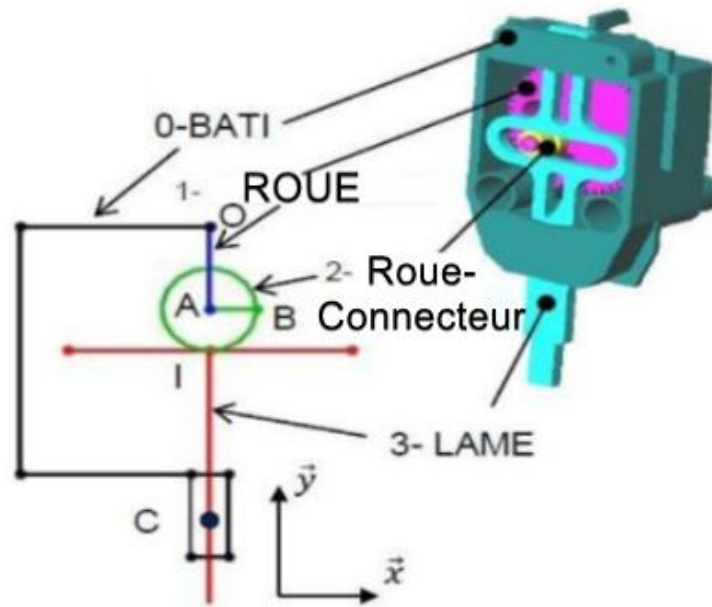


Figure IV-2 : Schéma de principe de la scie sauteuse [21]

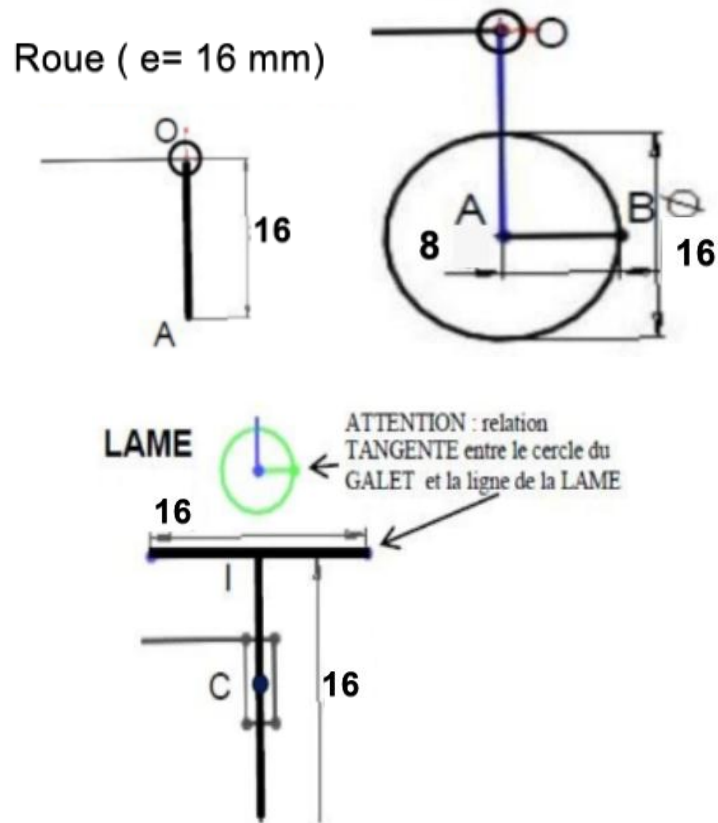


Figure IV-3 : Dimension de (Roue - Roue Connecteur - Porte lame)

IV-2 : Optimisation du mécanisme de base de la scie sauteuse

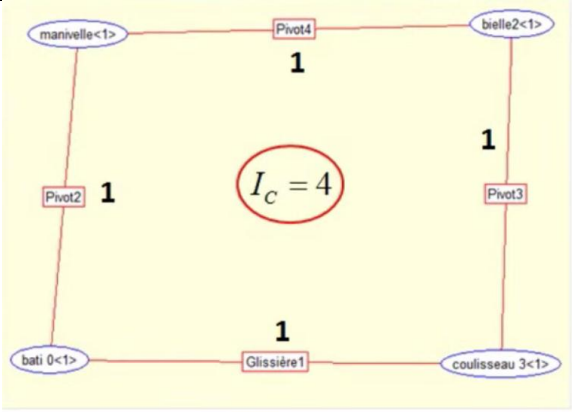
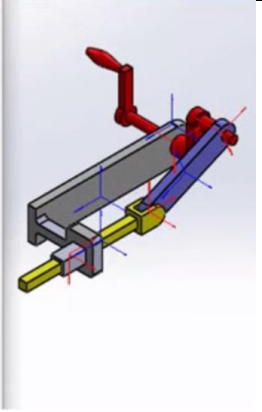
Le but de l'assemblage des pièces est de réaliser une ou plusieurs fonctions. Une des fonctions peut consister à être une structure immobile, ou bien à réaliser un travail (par exemple déplacer une charge). Dans tous les cas, chaque pièce est en contact avec plusieurs autres, ce qui va d'une part limiter les mouvements de chaque pièce, et d'autre part permettre la transmission d'efforts.

Pour maîtriser le comportement d'un mécanisme, afin par exemple d'obtenir une précision voulue de mise en position entre deux pièces ou d'éviter une usure prématurée ou un coincement, il faut connaître précisément la position relative de chaque liaison ainsi que les torseurs d'action mécanique correspondants [22, 23, 24]. Cette étude permet :

- De localiser les inconnues hyperstatiques, si elles existent que l'on ne peut pas les déterminer uniquement par application par exemple du principe fondamental de la statique (PFS),
- De proposer des modifications pour rendre le mécanisme isostatique,
- De savoir à quelles conditions géométriques de position relative des liaisons correspondent.

La recherche d'une solution optimale du mécanisme de base de la scie sauteuse, respectant la loi entrée-sortie, a abouti à différentes configurations avec différents degrés d'hyperstaticité (h).

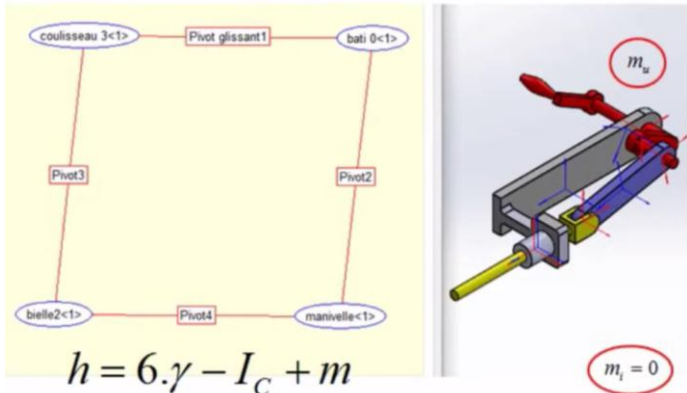
Solution N°01 :

<p>Pivot 2=1 ; Pivot 3=1 Pivot 4=1 Glissière 1=1 $I_c = 1+1+1+1 = 4$ (Inconnues cinématiques) Le système est composé d'une seule boucle : $\gamma=1$ La mobilité $m = m_i + m_u = 0 + 1 = 1$</p>		
$h = 6.\gamma - I_c + m$		

Cette configuration donne naissance à un système hyperstatique d'ordre 3 ($h=3$).

Solution N°02

On va modifier la liaison glissière et la remplacer par une liaison pivot glissant (pièce jaune).

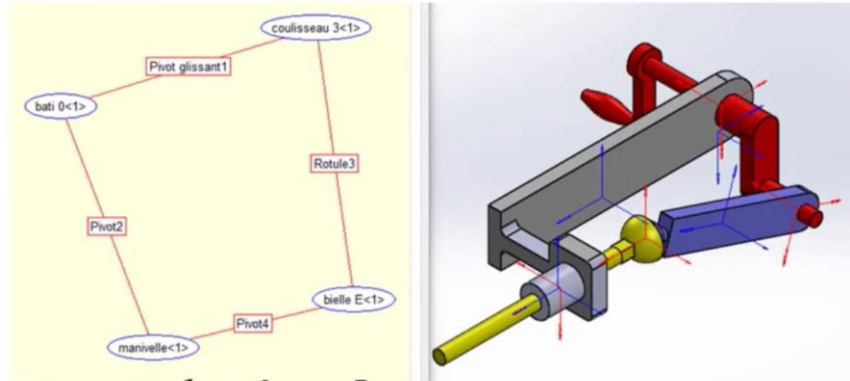
<p>Pivot 2=1 Pivot 3=1 Pivot 4=1 Pivot glissant 1=2 $I_c = 1+1+1+2 = 5$ (Inconnues cinématiques) Le système est composé d'une seule boucle : $\gamma=1$ La mobilité $m = m_i + m_u = 0 + 1 = 1$</p>	 $h = 6 \cdot \gamma - I_c + m$ $= 6 - 5 + 1$ <div style="border: 2px solid red; padding: 5px; display: inline-block;"> $h = 2$ </div>
--	---

Dans cette configuration le degré d'hyperstaticité sera égale : $H = 6 \times 1 - 5 + 1$ **h=2**

Cette configuration donne naissance à un système hyperstatique d'ordre 2 ($h=2$).

Solution N03 :

Si on remplace l'une des liaisons pivot de la bielle par une liaison rotule.

<p>Pivot glissant=2 Pivot 4=1 Pivot 2=1 Rotule=3 $I_c = 2+1+1+3 = 7$ (Inconnues cinématiques) Le système est composé d'une seule boucle : $\gamma=1$ La mobilité $m = m_i + m_u = 1 + 1 = 2$</p>	 $h = 6 \cdot \gamma - I_c + m$ $= 6 - 7 + 2$ <div style="border: 2px solid red; padding: 5px; display: inline-block;"> $h = 1$ </div>
--	---

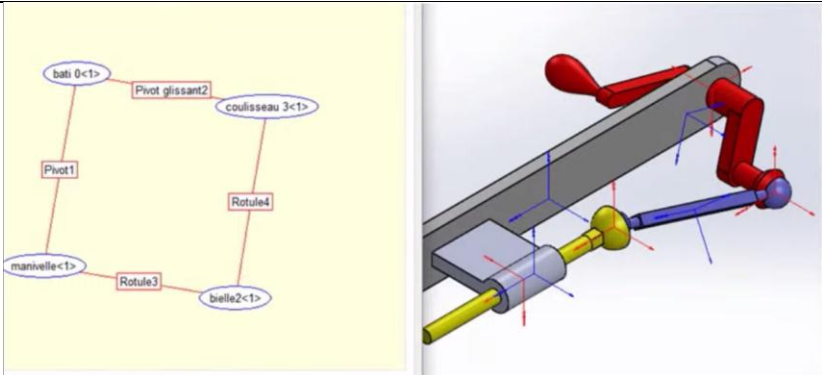
Dans ce cas le nombre de boucles ne change ($\gamma=1$) par contre les inconnues cinématiques augmentent.

Dans cette configuration, il y a apparition d'une mobilité interne, il s'agit de la rotation du coulisseau (pièce jaune).

Cette configuration donne naissance à un système hyperstatique mais d'ordre 1 ($h=1$).

Solution N°04 :

La dernière solution consiste à remplacer la deuxième liaison pivot de la bielle par une liaison rotule, dans ce cas le graphe de liaison ne change de forme puisqu'il reste une seule boucle ($\gamma=1$) mais par contre les inconnues cinématiques changent.

<p>Pivot glissant 2=2</p> <p>Pivot 1=1</p> <p>Rotule 3=3</p> <p>Rotule 4=3</p> <p>$I_c = 2+1+3+3 = 9$ (Inconnues cinématiques)</p> <p>Le système est composé d'une seule boucle : $\gamma=1$</p>	 $h = 6 \cdot \gamma - I_c + m$ $= 6 - 9 + 3$ <div style="border: 2px solid red; padding: 5px; display: inline-block;"> $h = 0$ </div>
--	--

La mobilité utile c'est toujours la rotation de la manivelle (pièce en rouge).

Bloquer cette rotation laisse encore un mouvement interne du coulisseau (rotation) et aussi la bielle peut tourner sans affecter la loi entrée-sortie et par conséquent le fonctionnement du système ne change pas.

La mobilité du système (m) :

$$m = m_i + m_u = (1+1+1) = 3$$

Le degré d'hyperstaticité sera égale : $h = 6 \times 1 - 9 + 3$ **$h=0$**

Dans ces conditions, nous sommes en présence d'un système isostatique.

Cette technique de recherche d'une solution optimale, visant à rendre le degré d'hyperstaticité nulle est difficile et lente, chose qui nous a poussé à exploiter les performances du MECA3D complément de SolidWorks que nous avons employé dans cette partie d'étude.

Après conception de la scie sauteuse et étude de l'hyperstaticité de notre système, on a pu construire un nouveau modèle isostatique obéissant à la loi entrée-sortie recherchée et plus simple à étudier.

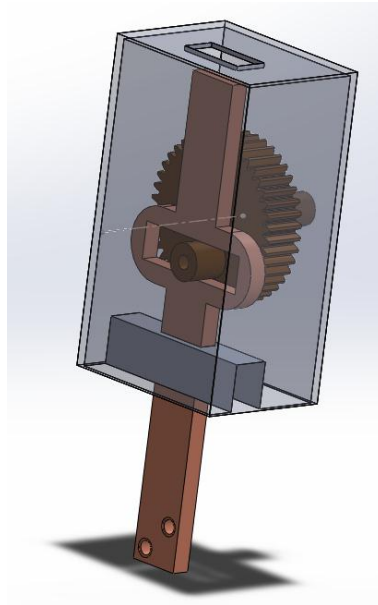


Figure IV-4 : Exemple de configuration de la scie sauteuse

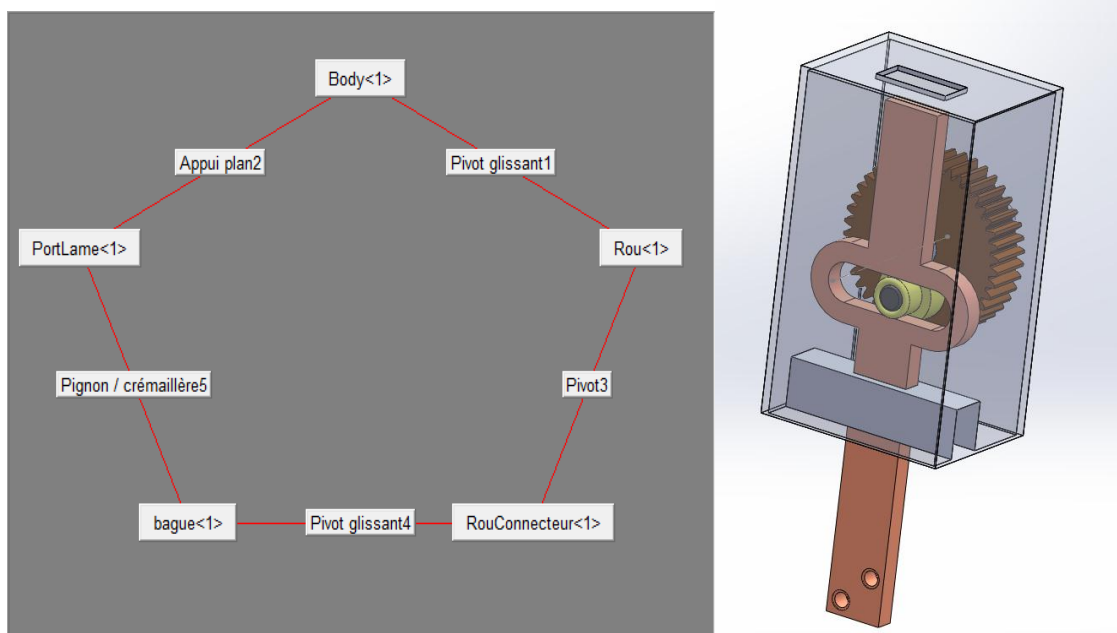


Figure IV-5: Graphe de structure des liaisons du modèle 1

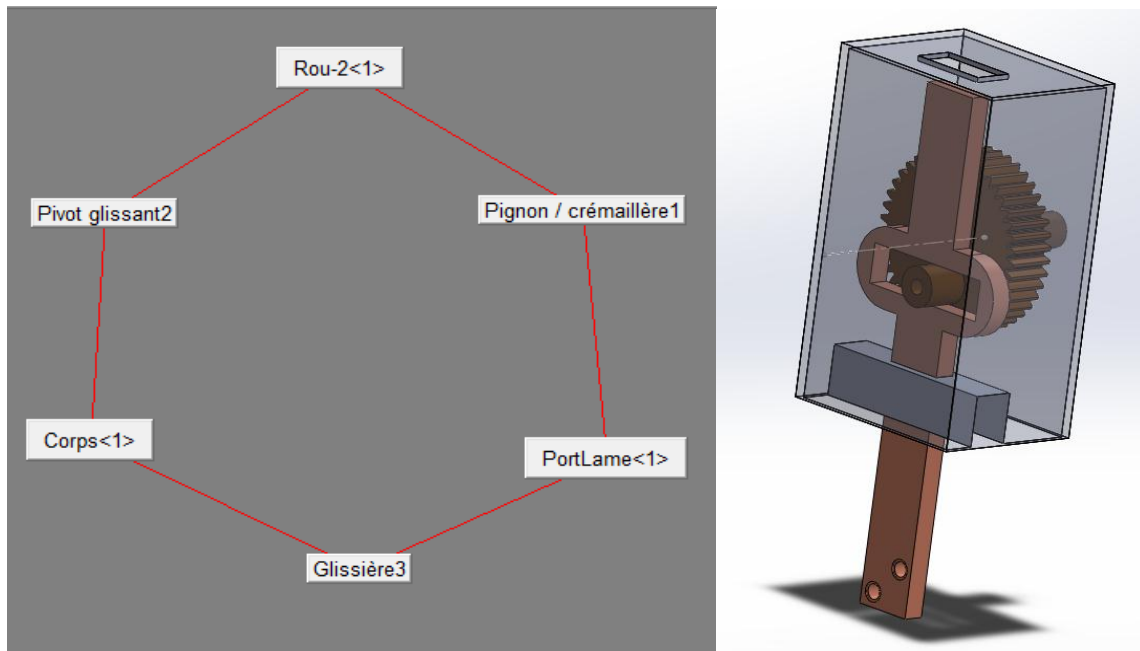


Figure IV-6: Graphe de structure des liaisons du modèle 2

Malgré la différence dans le graphe de liaisons des deux modèles, la loi entrée-sortie est toujours respectée avec un degré de mobilité recherchée du mécanisme qui est égale à 1 (mouvement alternatif de la pièce porte-lame).

IV-3 : Optimisation, par MECA3D, du mécanisme de base de la scie sauteuse

IV-3-1 : Principe

Afin d'obtenir une simulation, il est nécessaire dans MÉCA3D:

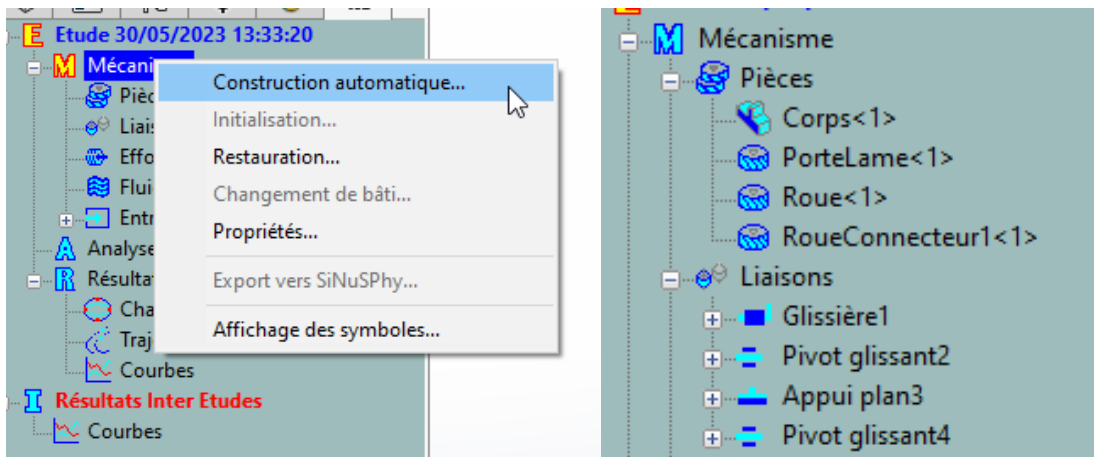
- De déclarer les ensembles indéformables (groupement de pièces qui n'ont aucun mouvement relatif entre elles) ce qu'on a déjà fait sûre SolidWorks ;
- De préciser les liaisons (spécifiant les mouvements possibles) entre ces ensembles ;
- De réaliser le calcul après avoir déclaré une (ou plusieurs) liaison pilote avec ses caractéristiques (vitesse de rotation...);
- D'afficher les résultats.

IV-3-2 : Définition du modèle cinématique

Création des liaisons entre les C.E.C (classes d'équivalences cinématiques).

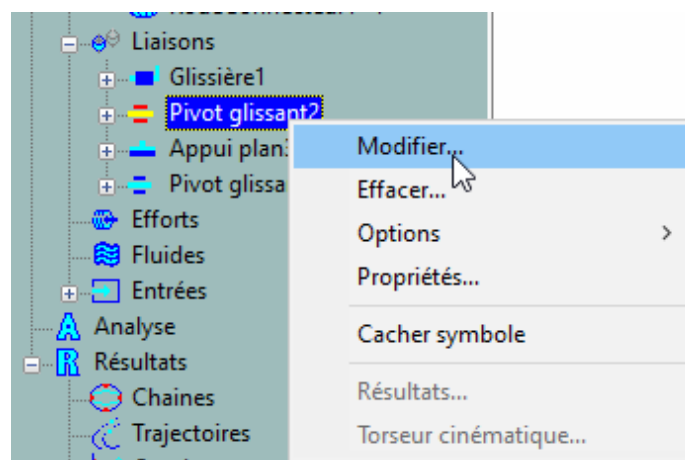
Pour ce faire nous devons cliquer droit sur Mécanisme puis sur Construction automatique.

Ce chemin est indiqué pour un ensemble dont les contraintes sont bien définies et qui ne nécessitent pas des liaisons équivalentes par exemples.



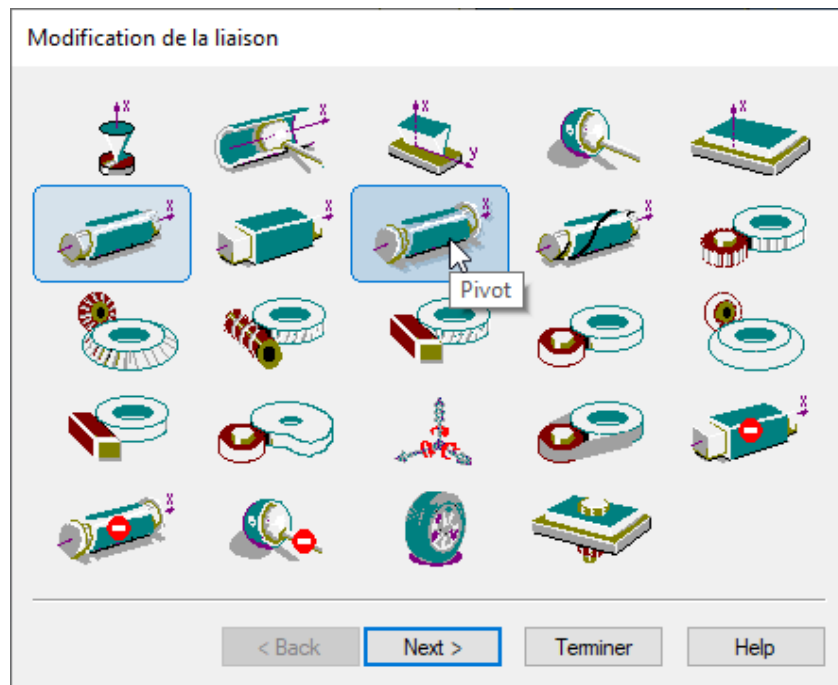
Dans le cas échéant, il faut procéder à la modification manuelle des liaisons ;

Pour faire cela il faut cliquer droit sur la liaison qu'on veut modifier ensuite sur Modifier

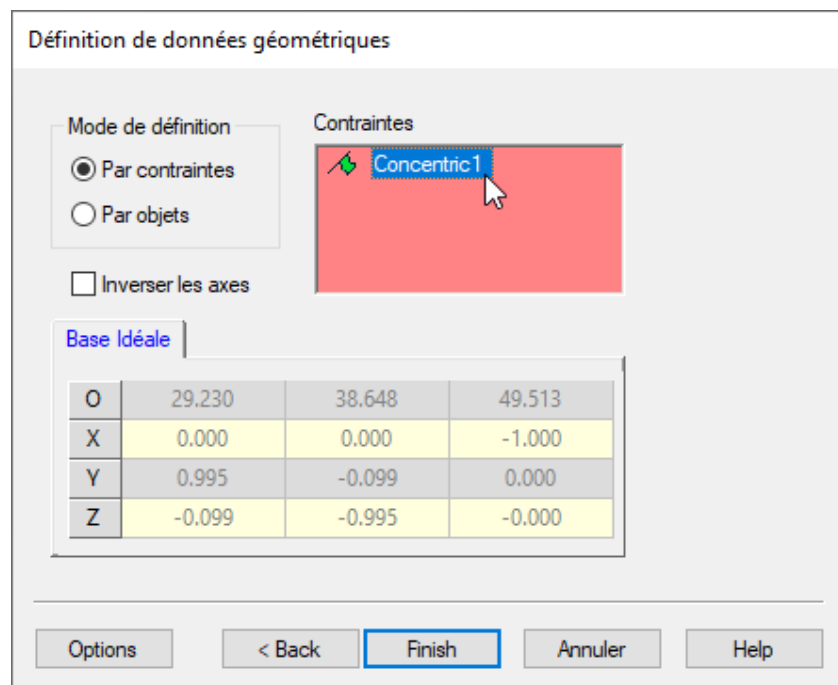


Suite à l'étude analytique faite sur notre mécanisme, il a été trouvé que le système proposé est hyperstatique. Afin de le rendre isostatique (pour une conception optimale) nous procédons à la solution suivante :

Choisir la liaison Pivot pour éliminer le degré d'hyperstaticité.

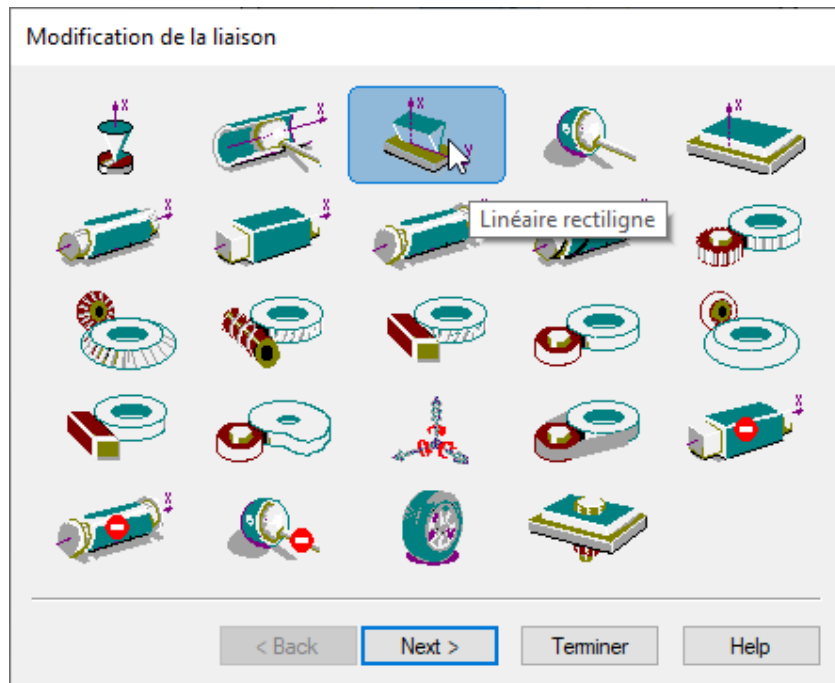


Choisir le mode de définition « par contrainte » est sélectionné la ou les contraintes.

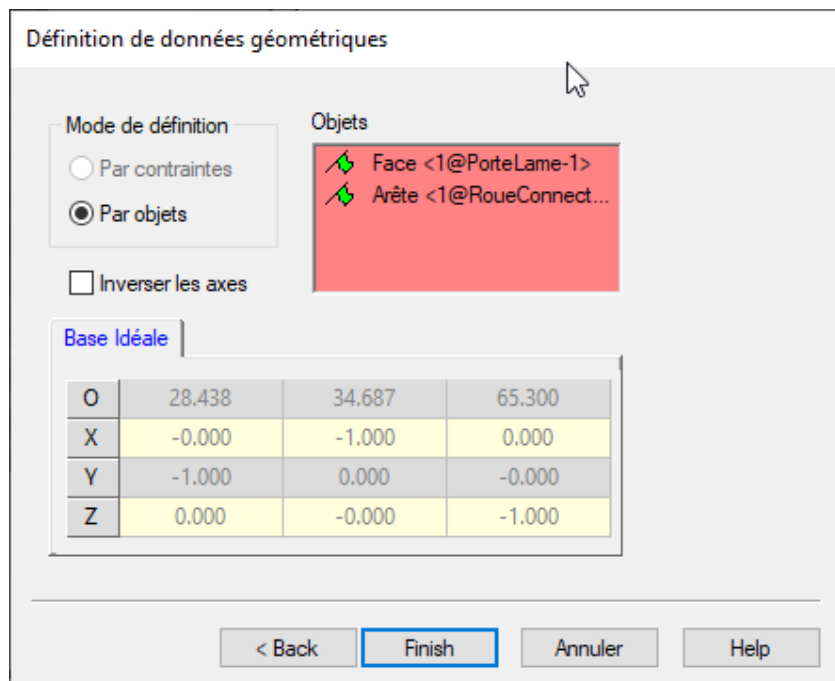


Cliquez sur « Terminer » pour définir la liaison.

On refait la même technique pour modifier la liaison Pivot Glissant 4 et la rendre en liaison Pivot et aussi la liaison Appui plan ; on la change a une liaison Linéaire rectiligne.



Choisir le mode de définition « par Objets », il faut maintenir la touche CTRL enfoncée pour sélectionner plusieurs objets.



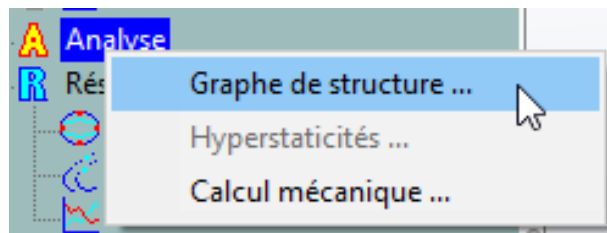
Après avoir terminé les modifications nécessaires, nous devons vérifier les différentes liaisons obtenues qui vont nous permettre à avoir un système isostatique.

- 1- Pivot entre Corps / Roue ;
- 2- Glissière entre Corps / Porte-Lame ;
- 3- Pivot entre Roue / Roue-Connecteur ;
- 4- Linéaire rectiligne entre Porte-Lame / Roue-Connecteur ;



Par la suite nous vérifions le graphe des liaisons du modèle comme suit:

- Vérifier le modèle sur le graphe de structure : cliquez droit sur Analyse / Graphe de structure



Sur ce graphe, il est possible de déplacer les pièces en cliquant dessus pour améliorer la visibilité.

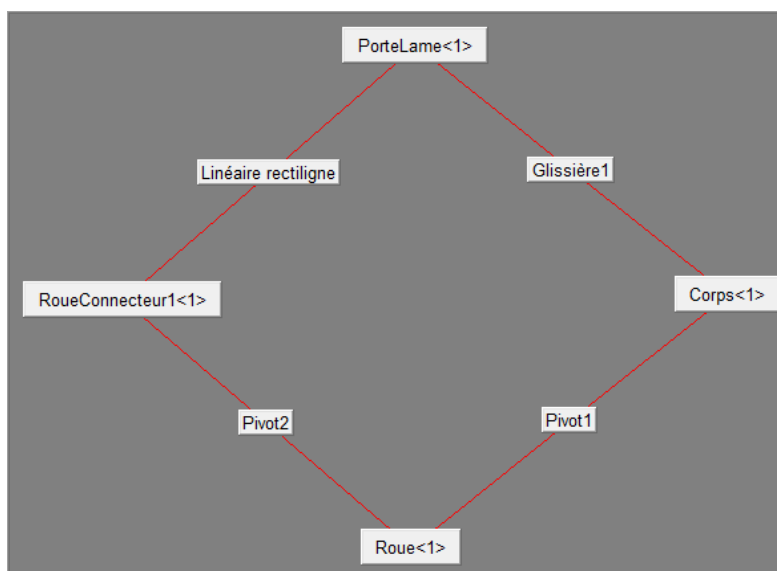


Figure IV-7 : Graphe de structure après modification

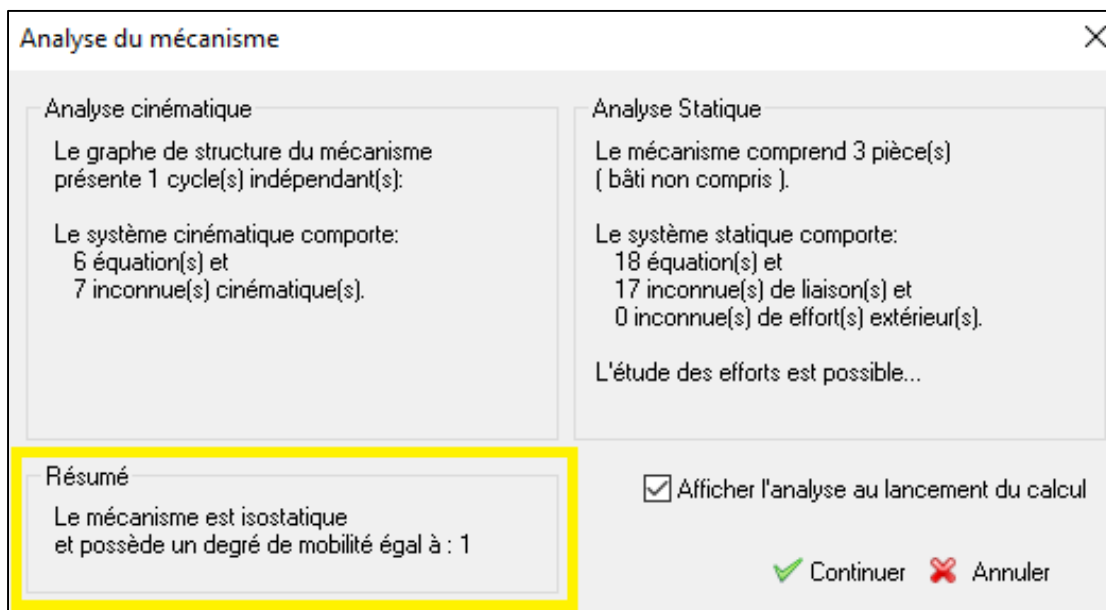
IV-4 : Simulation, par MECA3D, du comportement cinématique du mécanisme retenu

1) Définir la Position initiale

Si besoin, en manipulant le modèle ou à l'aide de contraintes d'assemblage, positionner le mécanisme dans la position initiale : Porte-Lame en position haute.

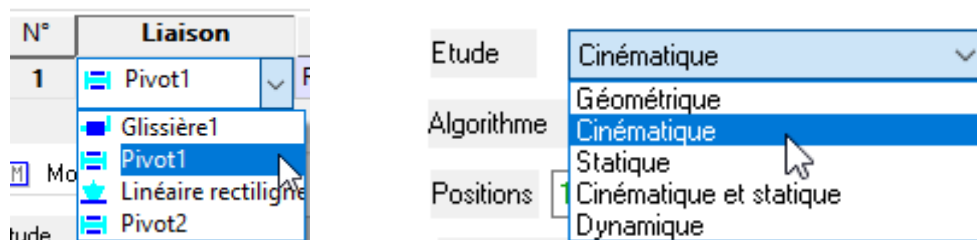
2) Paramétrer la simulation, définir la liaison pilote et réaliser le calcul

- Clic droit sur Analyse / Calcul mécanique.
- Vérifier que le degré de mobilité est de 1 (un chemin pour vérifier la loi E/S).



Si le degré de mobilité est égal 1, cela signifie qu'il y aura 1 paramètre d'entrée et donc qu'une seule liaison sera pilotée ; les autres pièces suivront le mouvement imposé par cette liaison pilote.

- Choisir le type d'étude : cinématique



- Sélectionner comme liaison pilote la liaison Pivot 1 (la liaison et la composante sont modifiable) et imposer une vitesse de rotation de 60 tr/min .

N°	Liaison	Compos.	Mouvement	Vitesse	Entrée
1	Pivot1	Rx (0.00000...	Uniforme	60.000000	

Movements d'entrée

- Définir le nombre de positions à **360** (instants sauvegardés) et la durée du calcul de **10 sec** pour qu'on ait un pas de calcul de **0.027778**.
 - Activer l'animation simultanée (permet de vérifier les paramètres du calcul) et lancer le calcul.
- Remarque :** Penser à reconstruire le modèle après modification de la position initiale et avant de relancer le calcul.



IV-5 : Extraction des résultats

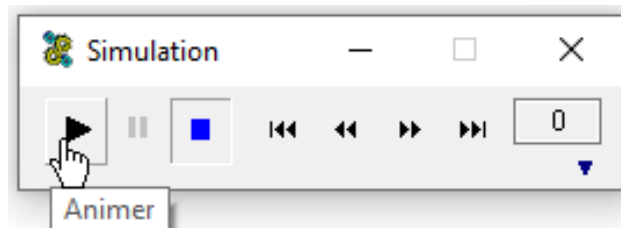
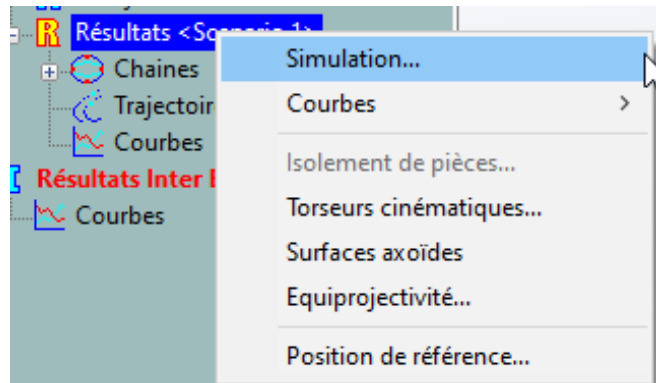
Les principaux résultats tirés suite à cette modélisation sont :

- Associés à une simulation du mouvement (trajectoire, vecteur vitesse...);
- Associés à une trajectoire d'un point ;
- Une courbe simple traçant l'évolution d'une grandeur du mécanisme en fonction du temps;
- Une courbe paramétrée traçant l'évolution d'une grandeur en fonction d'une autre.

Les données des courbes peuvent être exportées dans un fichier texte.

a) Simulation

- Cliquer droit sur **Résultats / Simulation**
- Cliquer sur **lecture**



La flèche noire située au coin bas droit permet d'accéder à 5 onglets :

- **Sélection** pour choisir les pièces à mettre en mouvement et la pièce de référence (pièce fixe) du mouvement ;
- **Mouvement** pour sélectionner la **vitesse de l'animation**. L'incrément définit les images à afficher : une sur une, ou une sur trois...
- Fichiers Avi pour sauver la simulation sous la forme d'une vidéo ;
- **Trajectoires** pour afficher des trajectoires déjà définies.

- Choisir différentes pièces de référence (onglet « sélection » de la fenêtre « Simulation ») ;
- Tester les options de l'onglet « mouvement »

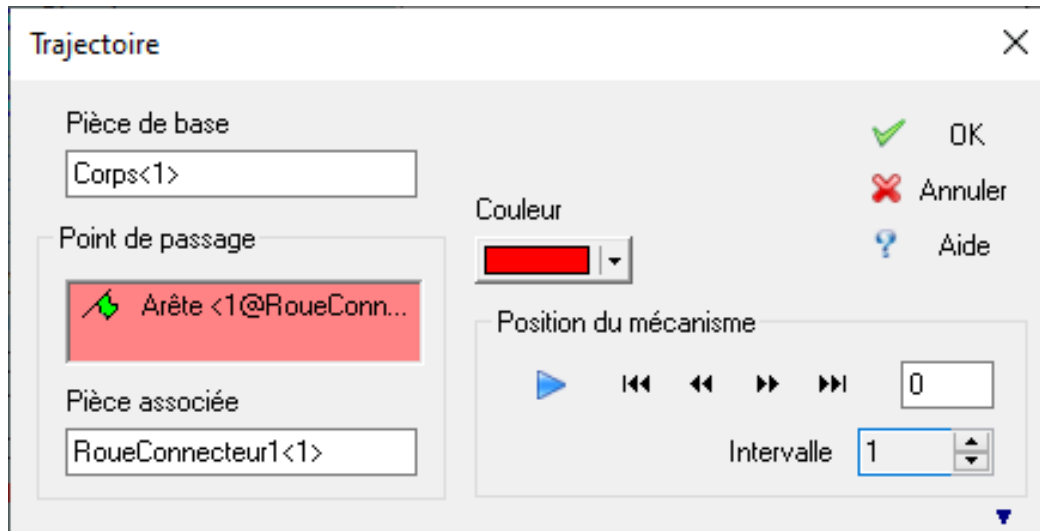
b) Définir une trajectoire

Créer la trajectoire d'un point est un préalable pour consulter ses positions, vitesses et accélérations.

- Cliquer droit sur **Trajectoires / Ajouter**.

L'écran ci-contre apparaît ;

- Sélectionner **le centre du Roue-Connecteur** (la sélection d'une arête circulaire, un cercle, prend son centre), la pièce dans laquelle le point est supposé fixe (Roue-Connecteur) et la pièce de référence (le Corps).

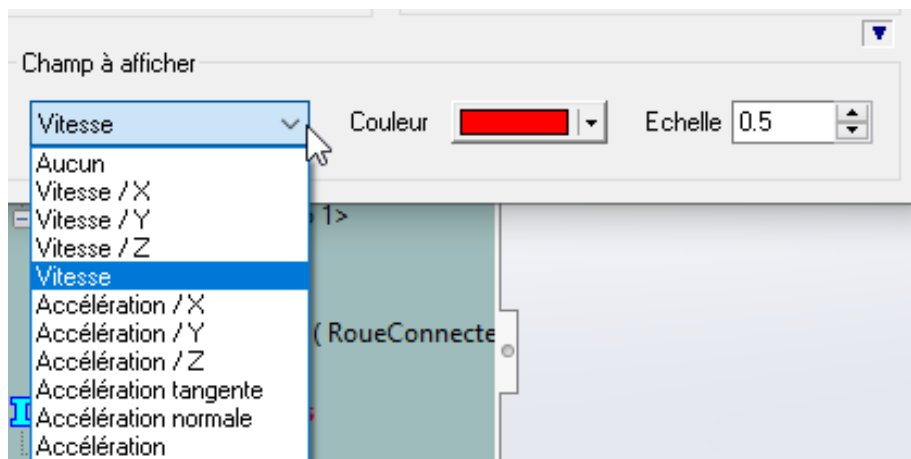


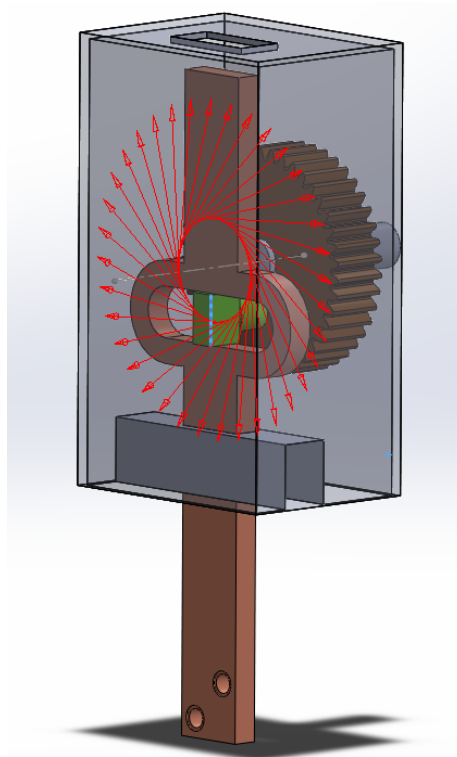
Le point défini est un « point fixe » de la « pièce associée » dont la position dans la pièce associée est définie à l’instant initial de la simulation. La trajectoire est celle de ce point dans la pièce de base

c) Afficher la vitesse ou l’accélération du point de la trajectoire

La flèche noire situé au coin bas droit permet d’accéder à l’option « champ à afficher sur la trajectoire » ;

- Choisir les vecteurs et une échelle de 0,5 puis cliquer sur **OK**.



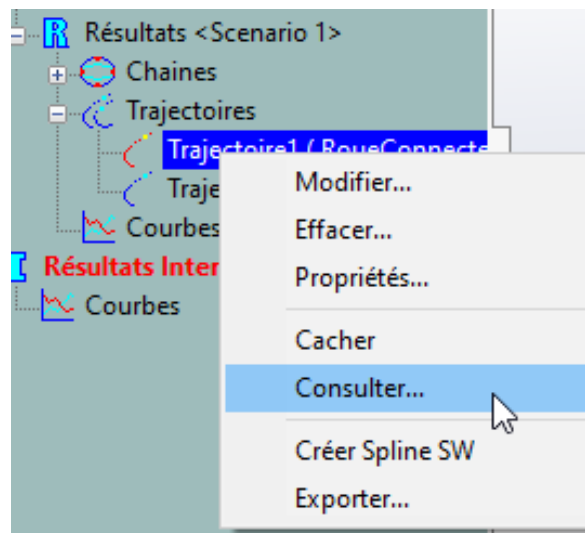


- Créer une deuxième trajectoire, celle d'un point du Porte-Lame par rapport au Corps, avec son champ des vecteurs (échelle 0,5).

Consulter en enregistrant les valeurs de position, vitesse et accélération du point de la trajectoire.

- Cliquer droit sur la trajectoire du Porte-Lame et sélectionner « Consulter »

Un tableau s'affiche.



Le fait de cliquer sur une ligne du tableau entraîne l'affichage en surbrillance du vecteur correspondant sur la trajectoire.

Le bouton Courbes du tableau affiche les données du tableau sous forme de courbes. Les Données peuvent être enregistrées dans un fichier texte.

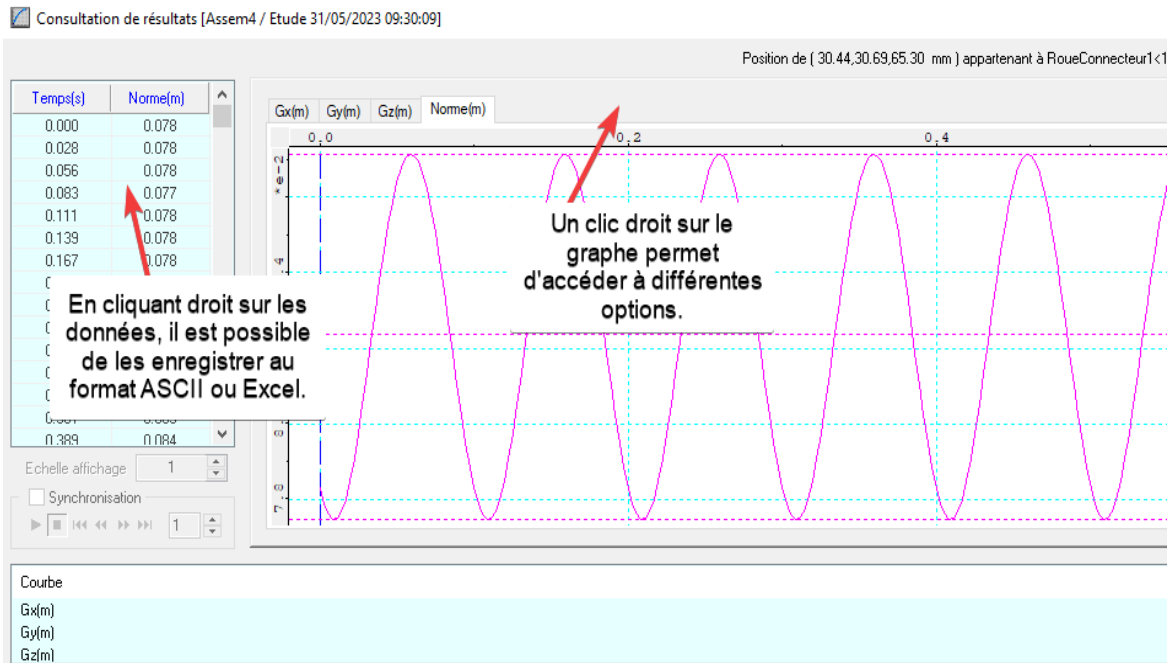


Figure IV-8 : Exemple de résultats obtenu par MECA3D (trajectoire d'un point de la Roue Connecteur)

- En consultant la trajectoire, déterminer la vitesse de translation maximale du porte lame par rapport au corps après affichage de la courbe.

d) Définir des courbes

Les courbes qui peuvent être définies sont :

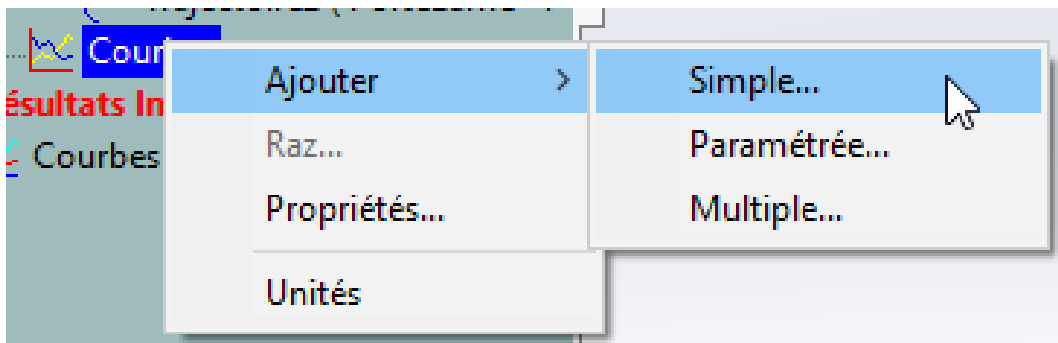
- Courbes simples pour afficher la variation d'un paramètre unique en fonction du temps ;
- Courbes multiples pour superposer l'évolution de plusieurs paramètres en fonction du temps ;
- Courbes paramétrées pour visualiser la variation d'un paramètre en fonction d'un autre paramètre.

Dans ce manuscrit seules les courbes simples sont traitées. Les mêmes principes sont utilisés pour les courbes multiples et paramétrées.

- Cliquer droit sur **Courbes / Ajouter / Simples** ;

Une boîte de dialogue s'affiche, comportant quatre onglets :

- Onglet Pièces permet de tracer l'évolution d'un repère pièce (lié au centre gravité) ;
- Onglet Liaisons permet de tracer l'évolution d'un repère de liaison et donc l'évolution des paramètres cinématiques des liaisons ;
- Onglet Efforts permet de tracer l'évolution d'effort pour les études statiques et dynamiques ;
- Onglet Trajectoires permet de tracer l'évolution de grandeurs liées aux trajectoires créées dans la partie précédente.



- Définir une courbe associée à la vitesse de rotation de la liaison Pivot Corps/Roue. Une fois créée, pour consulter cette courbe, cliquer droit dessus, puis sélectionner afficher. Modifier son unité afin que les ordonnées soient en tr/min ;
- Ajouter les courbes suivantes :
 - Vitesse de translation du centre de gravité du Porte-Lame / Corps ;
 - Vitesse de rotation de la Pivot Roue-Connecteur / Corps ;
 - Vitesse des 2 points dont les trajectoires ont été créées précédemment.

e) Animation de trajectoire, champ de vecteur et courbe précédemment mémorisée

- Cliquer droit sur **Résultats / Simulation**, puis lancer l'animation ;
- Cliquez sur la flèche bleue située au coin bas droit permettant d'accéder aux onglets trajectoire et courbes.
- Animer les trajectoires et les courbes pendant la simulation. Pendant la simulation, afficher toutes les courbes de l'onglet courbes.
- Créer les trajectoires des points aux 4 angles du Roue-Connecteur en y insérant l'affichage du champ des vecteurs vitesses, lancer l'animation et afficher ces trajectoires avec le vecteur vitesse instantanée (champ isolé).

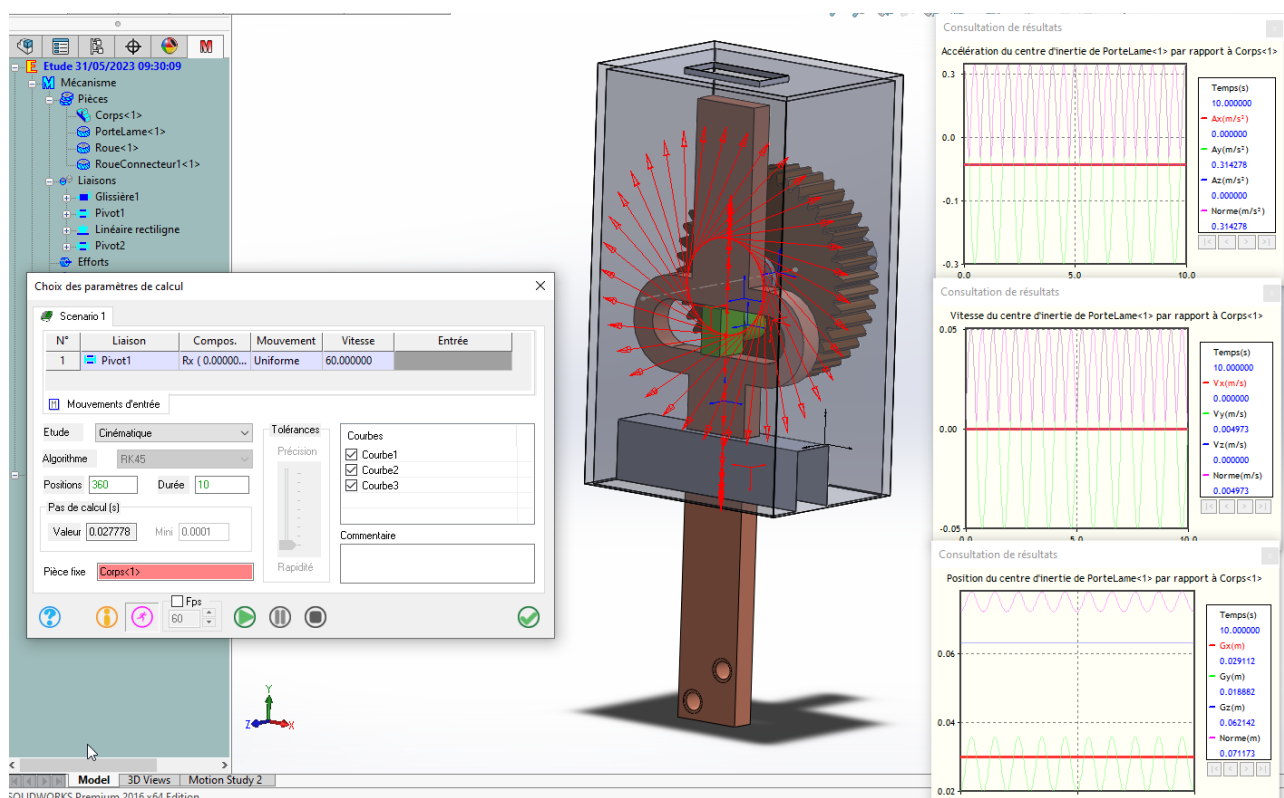
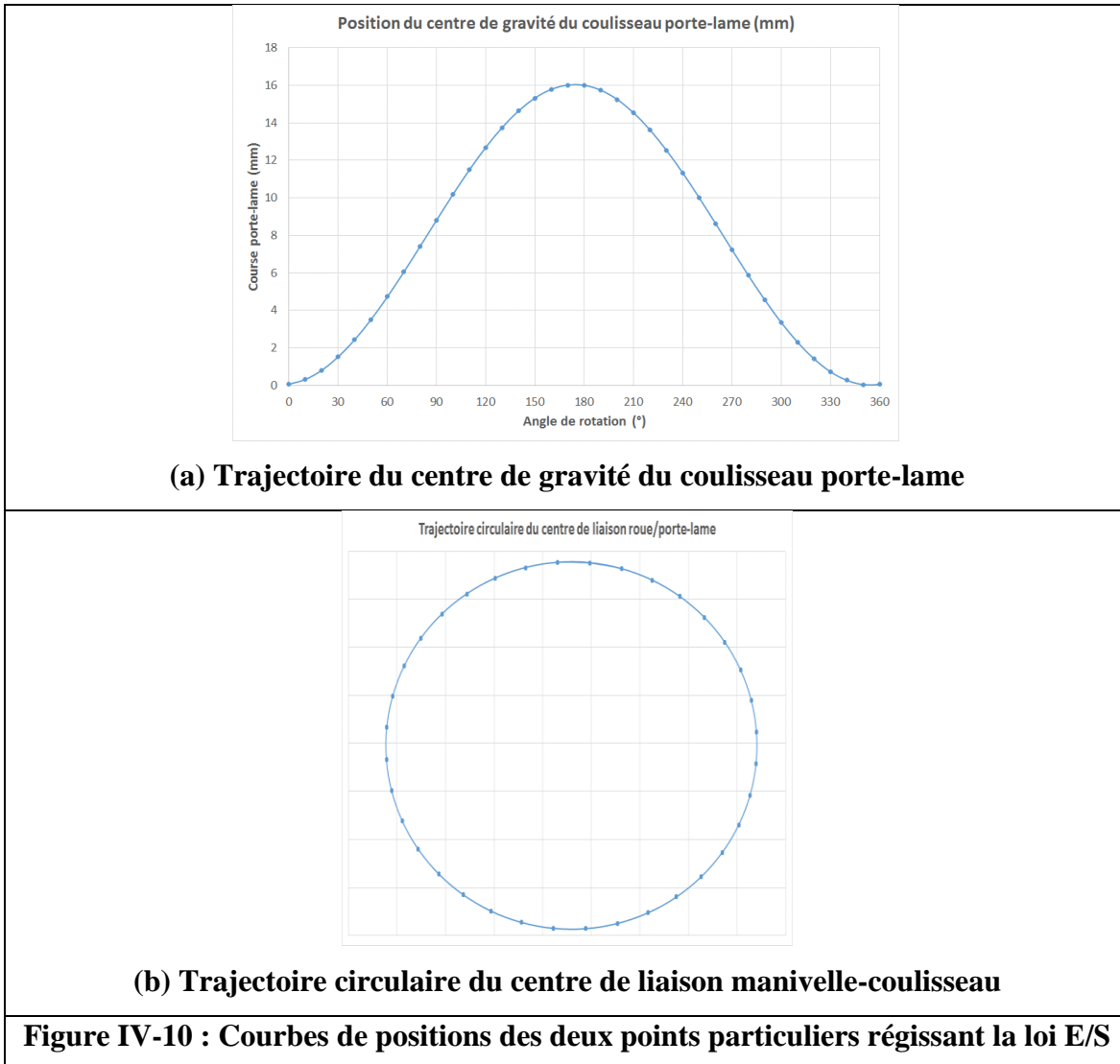


Figure IV-9 : Ensemble des résultats et des courbes (paramètres cinématiques) du coulisseau (Porte-Lame en MÉCA3D)

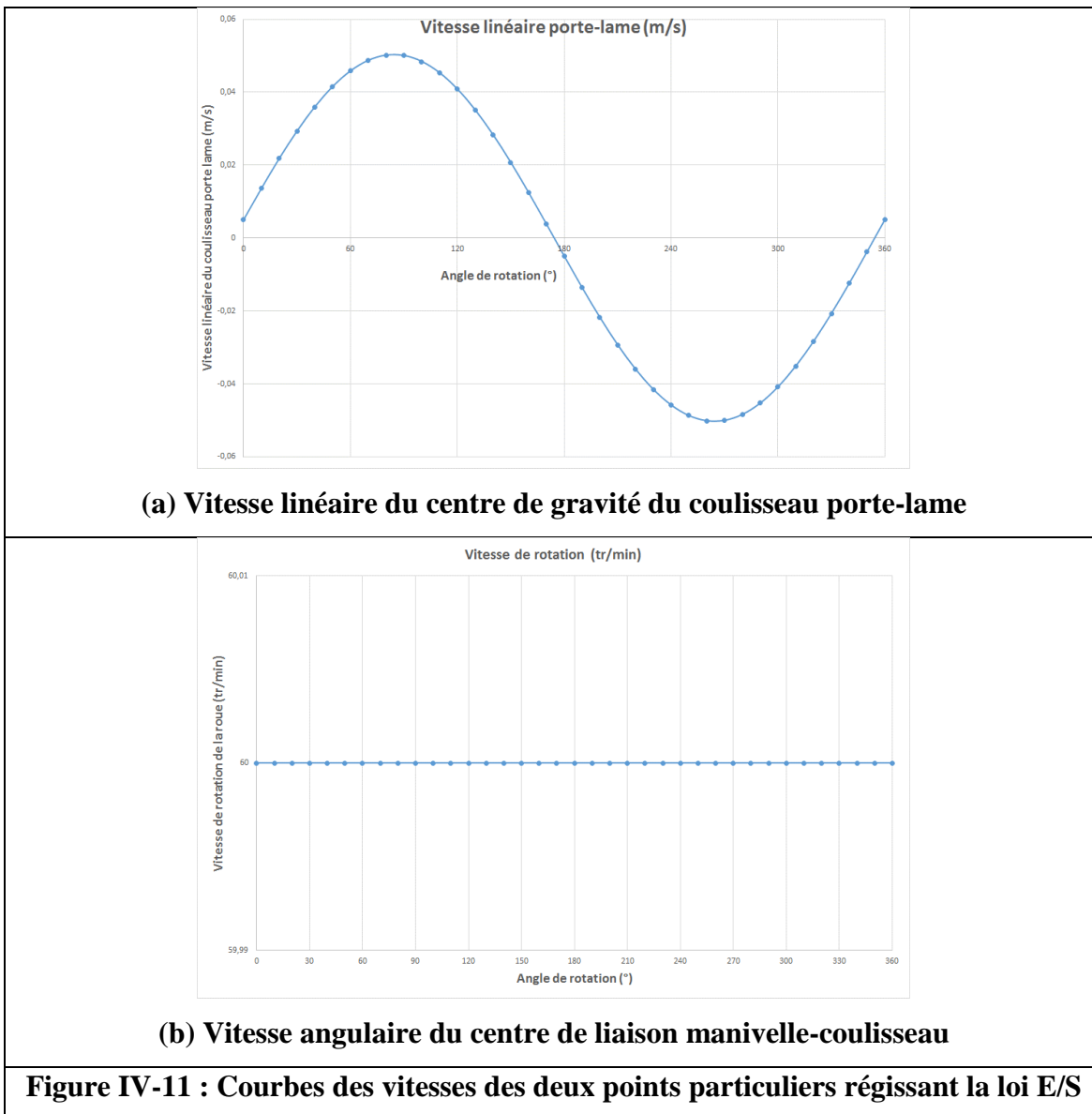
IV-6 : Exemples de paramètres cinématiques trouvés par MECA3D

IV-6-1 : Courbes de positions des deux points particuliers



Les trajectoires du centre de la liaison coulisseau porte-lame ainsi que la trajectoire du centre de la liaison manivelle-coulisseau sont représentées respectivement par les figures IV-1 (a) et IV-10 (b). Ces dernières montrent bien l'allure typique trouvée par la solution analytique. En ce qui concerne la trajectoire du centre de la liaison coulisseau porte-lame, le comportement sinusoïdal est retrouvé de période 2π avec une valeur de déplacement de 16 mm (2 fois le rayon de la manivelle). La trajectoire circulaire du centre de la liaison manivelle-coulisseau est retrouvée également et elle est typiquement identique à un cercle de rayon r =rayon manivelle.

IV-6-2 : Vitesses linéaires des deux points particuliers



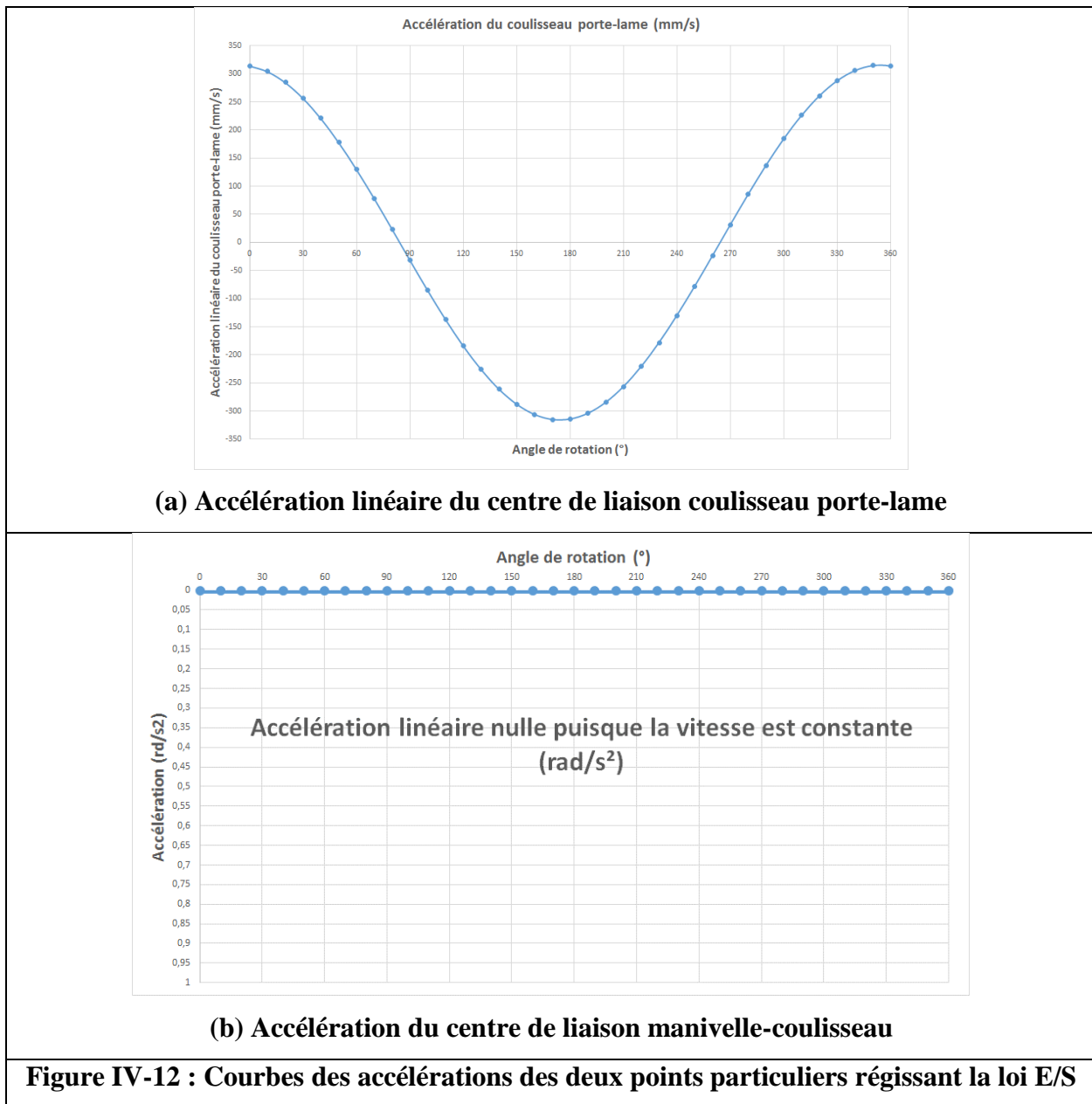
L'utilisation du complément MECAD3D de SolidWorks nous a permis de retrouver la courbe de variations de la vitesse linéaire du coulisseau porte-lame (figure IV-11 (a)) pour un tour complet de la manivelle (de forme sinusoïdale et dont les valeurs extrêmes (amplitudes maximales) $+50,01$ mm/s à 90° et $-50,01$ mm/s à 270° de la manivelle.

Donc, comparativement avec Motion, les valeurs de la vitesse linéaire trouvée par MECAD3D sont plus précises et dont l'erreur relative est de l'ordre de 0.4%.

On observe également sur les graphes qu'à chacun des "points morts" haut et bas la vitesse est nulle.

La vitesse angulaire est retrouvée exacte égale à 60 tr/min (figure IV-11 (b)).

IV-6-3 : Accélérations linéaires des deux points particuliers



L'allure trouvée de l'accélération du centre de liaison coulisseau porte-lame est parfaitement identique à celle trouvée dans le chapitre trois.

L'erreur relative enregistrée dans le calcul de l'accélération linéaire du coulisseau, au début et à la fin de la course, est de l'ordre de 0.01% pour toutes les valeurs trouvées lors de la simulation.

Ce type de calcul confirme encore l'intérêt de l'utilisation de MECA3D dans l'étude du comportement cinématique des mécanismes. La précision des calculs trouvés est sans doute due à la minimisation des éléments constituant le mécanisme et cela suite à la recherche d'un système isostatique.

IV-7 : Conclusion

Dans cette partie du travail, nous avons utilisé MECA3D, un logiciel d'ingénierie avancé (complément de SolidWorks), comme un outil puissant pour l'étude cinématique du mécanisme de base de la Scie sauteuse.

L'optimisation du nombre de liaisons du mécanisme nous a permis d'aboutir à un système cinématiquement équivalent à un système isostatique et dont la résolution des équations que ce soit cinématique ou statique est devenue très facile.

MECA3D nous a offert une plateforme complète pour simuler et analyser le fonctionnement complexe de ce mécanisme.

En modélisant chaque composant et leurs interactions, nous avons pu acquérir des informations précieuses sur le comportement surtout cinématique (cas de notre étude).

Les capacités du logiciel nous ont permis d'explorer différentes itérations de conception et d'évaluer leur impact sur l'efficacité et la précision de ce mécanisme.

Cette dernière conclusion confirme le choix de MECAD3D dans l'étude cinématique des différents systèmes mécanique en se basant sur une optimisation rationnelle des liaisons mécaniques que ce soit élémentaires ou équivalentes.

Conclusion Générale

L'utilisation du logiciel SOLIDWORKS avec ses compléments Motion, Simulation et MECA3D a joué un rôle essentiel dans la création et l'analyse de notre mécanisme (Scie Sauteuse) dans notre projet de mémoire. La combinaison de ces puissants outils a facilité le processus de conception et nous a permis d'explorer les lois de transformation du mouvement de rotation en mouvement de translation et vis-versa.

Tout d'abord, SOLIDWORKS s'est révélé être une ressource inestimable dans le développement des systèmes mécanique. Grâce à sa suite complète de modélisation 3D et de simulation, SOLIDWORKS nous a permis de construire une représentation virtuelle précise et détaillée du mécanisme de base d'une scie sauteuse.

Ce logiciel nous a offert une interface conviviale, des bibliothèques de composants étendues et des fonctionnalités d'assemblage avancées qui ont rationalisé le processus de conception. En tirant parti des capacités de modélisation paramétrique de SOLIDWORKS, nous avons pu apporter des modifications itératives à notre conception de manière efficace, ce qui nous a fait gagner du temps et d'efforts.

De plus, MECA3D a complété SOLIDWORKS en fournissant des outils spécialisés pour l'analyse et la simulation des mouvements. Grâce à MECA3D, nous avons pu simuler le mouvement complexe de notre mécanisme et vérifier l'efficacité de la transformation du mouvement de rotation en mouvement de translation (mouvement alternatif de sciage).

Ce logiciel nous a permis d'évaluer les performances du mécanisme, d'identifier d'éventuels problèmes et d'optimiser sa conception pour une fonctionnalité optimale (minimum de pièces et de liaisons).

L'intégration de MECA3D avec SOLIDWORKS a facilité un transfert transparent des données, nous permettant d'importer nos modèles 3D et d'effectuer des analyses de mouvement précises et fiables.

L'utilisation combinée de SOLIDWORKS et MECA3D nous a permis de surmonter divers défis dans la conception et l'analyse de notre mécanisme (Scie Sauteuse). Nous avons pu étudier la

relation complexe entre le mouvement de rotation et le mouvement de translation, en veillant à ce que le mécanisme fonctionne de manière fluide et efficace.

En simulant virtuellement le mouvement et son comportement, nous avons pu anticiper et résoudre les problèmes potentiels avant la création d'un prototype physique, ce qui nous a fait gagner un temps et des ressources précieux.

De plus, l'intégration de SOLIDWORKS et MECA3D nous a fourni une compréhension globale des performances du mécanisme de base de la scie Sauteuse.

Nous avons pu recueillir des données quantitatives sur des paramètres tels que la vitesse, l'accélération et la position, ce qui nous a aidés à évaluer les caractéristiques opérationnelles. Cette approche basée sur les données nous a permis de prendre des décisions éclairées lors du processus de conception, ce qui a conduit à la création d'un mécanisme, avec un schéma cinématique minimal, plus robuste et fiable.

En conclusion, l'utilisation combinée de SOLIDWORKS et MECA3D a contribué de manière significative à la réussite, de notre projet de fin d'études, dans la création et l'analyse d'un mécanisme de base équivalent de la scie sauteuse. Ces outils nous ont permis de concevoir un mécanisme précis, d'étudier sa transformation du mouvement de rotation en mouvement de translation et d'optimiser ses performances. Les simulations virtuelles facilitées par SolidWorks et MECA3D nous ont permis de valider nos choix de conception et d'apporter les améliorations nécessaires, aboutissant finalement au développement d'un mécanisme efficace et fonctionnel.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Jean Louis FANCHON, 'Guide des sciences et technologies industrielles' Edition Nathan2004.
- [2] Jean Louis FANCHON, 'Guide de Mécanique sciences et technologies industrielles' Edition Nathan2002.
- [3] Jean-Pierre BROSSARD, 'Base des mécanismes articulés, Quadrilatère articulé', Techniques de l'ingénieur : AF 1 671.
- [4] NEIL SCLATER, 'MECHANISMS & MECHANICAL DEVICES SOURCEBOOK', 2001, by The McGraw-Hill, Companies, Inc. Printed in the USA.
- [5] Med Amine Laribi, 'CONTRIBUTION À LA SYNTHÈSE DES MÉCANISMES PLANS ET SPATIAUX ET DE ROBOTS PARALLÈLES PAR UNE MÉTHODE ÉVOLUTIONNAIRE', Thèse de doctorat, Université de Poitiers, 2005.
- [6] Ganesha Ram & Al. 'Static Finite Element Analysis and Optimization of Two-Wheeler Connecting Rod' International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 2014.
- [7] Daffri Chaima "Etude cinématique et dynamique, sous solidworks, des mécanismes plans" Mémoire de master_2022; Université de Guelma.
- [8] Mat WEBER 'SolidWorks Simulation, Black Book 2015' CAD/CAM/CAE Works USA 2015.
- [09] <https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/pedagogiques/12086/12086-presentation-solidworks-2016.pdf>
- [10] <https://www.goengineer.com/solidworks/simulation/solidworks-simulation>
- [11] <https://www.cati.com/blog/6-steps-to-your-first-solidworks-simulation/>
- [12] <https://www.solidworks.com/>
- [13] James Doane, 'MACHINE ANALYSIS WITH COMPUTER APPLICATIONS FOR MECHANICAL ENGINEERS', 2016 John Wiley & Sons Ltd
- [14] DAN B. Marghitu, 'Kinematic chains and machine components design'; Elsevier Academic Press, 2005.

- [15] David H. Myszka, 'MACHINES AND MECHANISMS APPLIED KINEMATIC ANALYSIS' Library of Congress Cataloging-in-Publication Data: 2012.
- [16] Engineering Design and Technology Series 'An Introduction to Stress Analysis Applications with SolidWorks Simulation, Student Guide' SolidWorks Corporation 2010.
- [17] Atul jain & al. 'Comparative study and static analysis of piston using Solidworks and Ansys' International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 2020
- [18] Radostina V. Petrova, 'Introduction to Static Analysis Using SolidWorks Simulation' Edition CDC Press, Taylor & Francis group. 2015.
- [19] Viraj Mehta, « Performance evaluation of Jigsaw machines with kinematic and stress analysis » ICTACEM-2017/0655.
- [20] Norton, Robert L., 'DESIGN OF MACHINERY: An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines, : Library of Congress Cataloging-in-Publication Data 1999.
- [21] Simulation cinématique du solide indéformable ; SolidWorks et MECA3D , Science industrielles pour ingénieur ; C.P.G.E. 1 T.S.I.
- [22] Encyclopédie des sciences industrielles Quillet : Mécanique Applications transports M2 ; Librairie Artistide Quillet, paris 1974.
- [23] Renie Basquin, 'Mécanique première partie' ; Edition DELAGRAVE 1979.
- [24] A. CAMPA, ' La mécanique par les problèmes', Edition Foucher 1990.