

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية
Université de Ghardaïa

N° d'enregistrement
/...../...../...../...../.....



كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
قسم الآلية والكهروميكانيك
Département de Automatique Et Electromécanique

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de master

Domaine: Sciences et de la Technologie

Filière: Electromécanique

Spécialité: Maintenance Industrielle

Thème

Conception Et Réalisation D'un Emulateur De Conduite D'une
Pelle Mécanique Hydraulique

Soutenue publiquement le 11/06/2022

Par

Nessil Fouad et Bendekken Yacine

Devant le jury composé de:

Examineur 1	Bendaoui	Messaoud	MCB
Examineur 2	Lalmi	Djemoui	MCA
Encadreur	Mosbah	Charaf Abdelkarim	MCB
Co-Encadreur	Zitani	Brahim	MAA

Année universitaire : 2021/2022

Résumé :

La pelle mécanique hydraulique est un engin de chantier également connu sous le nom de pelle hydraulique, pelleteuse ou excavatrice. Pour un débutant, la maîtrise de conduite de cet engin est très difficile vu que son coût est très élevé ce qui rend l'opportunité d'apprentissage de conduite peu probable. Pour remédier à ce problème, nous espérons réaliser dans ce projet un émulateur simple, fiable et peu coûteux. Cet émulateur va permettre aussi de minimiser les accidents au chantier par la maîtrise de conduite.

Mots clés: Pelle hydraulique, conception mécanique, vérin hydraulique

Abstract :

The excavator is a construction machine also known as a hydraulic shovel, backhoe. For a beginner, mastering the driving of this machine is very difficult given that its cost is very high, which makes the opportunity to learn to drive unlikely. To remedy this problem, we hope to realize in this project a simple, reliable and inexpensive emulator. This emulator will also make it possible to minimize accidents on the construction site through driving skills.

Keywords: Hydraulic excavator, mechanical design, hydraulic cylinder

ملخص:

المجرفة الهيدروليكية هي آلة بناء تُعرف أيضًا باسم الحفارة الخلفية أو الحفارة. بالنسبة للمبتدئين ، فإن إتقان قيادة هذه الماكينة أمر صعب للغاية نظرًا لأن تكلفتها عالية جدًا ، مما يجعل فرصة تعلم القيادة أمرًا صعبًا. لحل هذه المشكلة ، نأمل أن نحقق في هذا المشروع محاكاة بسيطة وموثوقة وغير مكلفة. سيكون هذا المحاكاة أيضًا من تقليل الحوادث في موقع البناء من خلال مهارات القيادة.

الكلمات المفتاحية: حفارة هيدروليكية ، تصميم ميكانيكي ، اسطوانة هيدروليكية



REMERCIÉ

NOUS TENONS TOUT D'ABORD À REMERCIER ALLAH POUR NOUS AVOIR GUIDÉS VERS LE BON CHEMIN DE LA LUMIÈRE ET DU SAVOIR ET POUR NOUS AVOIR DONNÉ DU COURAGE, DE LA VOLONTÉ AFIN DE POUVOIR RÉALISER CE MODESTE TRAVAIL.

NOS REMERCIEMENTS À NOS PARENTS, POUR LEURS SOUTIENS ET LEURS ENCOURAGEMENTS PENDANT TOUTE LA VIE ET QUI CONTINUERONT À NOUS AIDER DANS TOUS LES PROJETS DE L'AVENIR.

AINSI QUE TOUS LES MEMBRES DE NOS FAMILLES QUI ONT PARTICIPÉ DE PRÈS OU DE LOIN À NOUS ENCOURAGER ET NOUS AIDER DANS NOTRE PROJET.

NOUS TENONS À EXPRIMER NOTRE PROFONDE GRATITUDE À NOTRE PROMOTRICE DR.CHARAF ABDULKARIM MOSBAH ET DR.ZITANI BRAHIM POUR SA CONFIANCE ET SON ACCORD À NOUS ENCADRER.

NOUS TENONS À REMERCIER LES MEMBRES DE JURY POUR AVOIR ACCEPTÉ DE JUGER NOTRE TRAVAIL.

MES SINCÈRES REMERCIEMENTS VONT ÉGALEMENT À TOUS LES ENSEIGNANTS, DU DÉPARTEMENT DE AUTOMATIQUE ET ÉLECTROMÉCANIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE GHARDAIA, QUI ONT PARTICIPÉ À NOTRE FORMATION.

ENFIN NOUS REMERCIONS TOUS CEUX QUI ONT CONTRIBUÉ DE PRÈS OU DE LOIN À LA RÉALISATION DE CE MÉMOIRE.



Je dédie avec grand plaisir, ce modeste travail à :

Tout d'abord je tiens à remercier Dieu Tout puissant ;

Je puisse les honores ;

A mon père

A ma chère mère ;

A mon grand-père et ma grand-mère

A mon frère et ma soeur

A toute ma famille ;

Et tous mes amis proches;

Et a Tous mes collègues automatique et électromécanique spécialité

maintenance industrielle 2022

Merci

Bendekken Yacine





Je dédie ce projet :
A ma chère mère,
A mon cher père,
A mes frères , et soeurs Surtout à ma grande soeur
Je leur remercie pour leur soutien moral
Pour leurs indéfectibles soutiens et leurs patiences infinies.
A mes chères ami(e)s
Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.
A toute ma famille,
A tous mes autres ami(e)s,
A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

Merci

Nessil fouad



Sommaire

I.	I.1 Introduction:	5
1.1	I.2 Les matériels de travaux publics	6
1.2	I.2.1 La niveleuse :	6
1.3	I.2.2 Pelle hydraulique :	7
1.4	I.2.3 les camions à benne basculante :	8
1.5	I.2.4 Chargeuses :	9
1.6	I.2.5 Compacteurs :	10
1.7	I.2.6 LES TRACTOPELLES (OU CHARGEUSES PELLETEUSES) :[3]	10
1.9	I.2.7 LES SCRAPERS : (Décapeuses)	11
1.	Bétonnière	12
1.11	Grue (engin)	13
	Chapitre 02	14
	Le logiciel SolidWorks	14
1.12	Le logiciel SolidWorks	15
2	Définition :	15
2.1	SolidWorks est un logiciel propriétaire de conception assistée par ordinateur 3D fonctionnant sous Windows.	15
2.2	Navigation dans l'interface de SolidWorks	15
2.3	concepts	16
2.4	modélisation 3D	16
2.5	Terminologie	16
	origine	16
	Plan	16

Axe	16
Face	17
Arête	17
Sommet.....	17
2.6 Interface utilisateur	17
2.7 fonctionnalité windows.....	17
2.8 fenêtres de documents	17
2.9 Arber de création feature manager	17
2.11 configuration manager	18
2.12 Sélection et retour d'information	19
2.13 Menus.....	19
2.14 Barres d'outils.....	20
2.15 Gestionnaire de commandes	20
2.16 Barres de raccourcis	21
2.17 Barres d'outils contextuelles.....	21
2.18 Boutons de la souris	22
GAUCHE	22
DROITE	22
MILIEU	22
MOUVEMENTS DE LA SOURIS.....	22
2.19 Personnalisation de l'interface utilisateur	22
2.20 Poignées	22
2.21 Aperçus	23
2.22 Aperçu de lissage	23
2.23 Retour d'information fourni par le pointeur	23

2.24	Filters de selection	24
2.25	Selection autre.....	24
2.26	processus de conception.....	24
2.27	Méthode de conception	25
	Esquisses	25
	Fonctions	25
	Assemblages.....	25
2.28	Fonctionnement :	25
2.29	Les pièces:.....	25
2.30	Parmi les fonctions génératrices il existe :.....	26
	Le balayage	26
2.31	* congés et chanfreins,.....	26
2.32	* nervure,	26
	valeur de certaines cotes.....	27
2.33	Les mises en plan	28
2.34	Vues	28
2.35	Cotation.....	29
2.36	Fond de plan.....	29
2.37	Nomenclature	29
2.38	Les extensions des fichiers.....	29
3	Introduction:.....	32
3.1	Exigences de l'industrie de construction :	32
3.2	Modélisation de la partie opérative de la pelle hydraulique :.....	34
3.3	Modèle cinématique :	34
3.4	La force hydraulique :.....	37

3.5	Modélisation du système hydraulique	39
	Équation de flux de charge.....	40
	Forme matricielle de la dynamique des sous-systèmes hydrauliques	41
3.6	Conclusion:	42
3.7	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	63
4	Introduction.....	44
4.1	Introduction au logiciel SOLIDWORKS :	44
4.2	Fonctionnement	44
4.3	Concepts de base	45
4.4	Pièce.....	45
4.5	Assemblage.....	45
4.6	Mise en plan.....	46
4.7	Résultat de la conception finale :.....	46
4.8	Profil fixe de la pelle :	47
4.9	La deuxième partie principale	47
4.10	La troisième partie principale	47
4.11	realisation	53
4.30	Conclusion:	61
4.31	Conclusion Général.....	62

Sommaire

Figure 1 Niveleuses	7
Figure 2Pelle hydraulique	8
Figure 3Camion à benne avec remorque	8
Figure 4Camion à benne standard	8
Figure 5Camion à benne ROLL-OFF	9
Figure 6Chargeuses	9
Figure 7Compacteurs	10
Figure 8LES TRACTOPELLES	11
Figure 9LES SCRAPERS	12
Figure 10Bétonnière	12
Figure 11Grue (engin)	13
Figure 12Les coordonnés généralisés	35
Figure 13Cinématique inverse des vérins hydrauliques.....	38
Figure 14Modélisation du manipulateur d'une pelle hydraulique	40
Figure 15Conception finale d'une pelle hydraulique	46
Figure 16la base de la pelle	47
Figure 17la Flèche principale	47
Figure 18la Flèche secondaire.....	48
Figure 19 Godet d'excavatrice.....	48
Figure 20Vérin. Le support de godet de pelle permet à la pelle de se déplacer facilement	49
Figure 21 Support de Godet d'excavatrice	49
Figure 22Support arrière de Godet d'excavatrice	50
Figure 23dans labo hydraulique	53
Figure 24 des catalogue.....	55
Figure 25table d'expérimentation	56
Figure 26 la base de vérin	57
Figure 27conception modulaire en bois	58
Figure 28 les supports en fer	58
Figure 29 la flèche principal.....	59
Figure 30la flèche secondaire.....	59
Figure 31a flèche secondaire.....	60

Introduction Générale

Introduction Générale

La pelle mécanique hydraulique est un engin de chantier très utilisé dans domaines travaux publics pour l'excavation, la maîtrise de conduite de cet engin pour un débutant est très difficile à cause son coût très élevé, ce qui rend peu probable l'opportunité d'apprentissage de conduite. Pour résoudre ce problème. Afin de trouver une solution à ce problème, nous proposons dans ce projet de fin d'étude la conception et la réalisation d'un émulateur de conduite. Pour cela, nous adoptons le plan de travail suivant :

- Dans le premier chapitre nous introduisant les différents engins de chantier et nous présentons leurs rôle et principe de fonctionnement.
- Dans le deuxième chapitre, nous présentons le logiciel de conception solide Works
- Nous passons dans le chapitre trois à la modélisation des différents lois physiques qui gouverne le fonctionnement de la pelle hydraulique.
- Finalement, nous présentons les étapes de réalisation de notre prototype d'émulateur de pelle hydraulique.

Chapitre 01

Les Engines Des Chantiers

Introduction Générale

I. I.1 Introduction:

Jusqu'au 19^{ème} siècle et au début du 20^{ème} siècle, des machines lourdes étaient tractées par la force humaine ou animale. Avec l'avènement des moteurs à vapeur portables, les précurseurs des machines étirées ont été reconfigurés avec les nouveaux moteurs, tels que la moissonneuse-batteuse . La conception d'un tracteur central a évolué autour de la nouvelle source d'énergie à vapeur pour devenir un nouveau moteur de traction central de la machine , qui peut être configuré comme tracteur à vapeur et rouleau compresseur . Au cours du 20e siècle, les moteurs à combustion interne sont devenus la principale source d'énergie des équipements lourds. Des moteurs au kérosène et à l' éthanol ont été utilisés, mais aujourd'hui les moteurs diesel sont dominants. La transmission mécanique a été dans de nombreux cas remplacée par des machines hydrauliques. Le début du XXe siècle a également vu de nouvelles machines électriques telles que le chariot élévateur . Caterpillar Inc. est une marque actuelle de nos jours, qui a débuté sous le nom de Holt Manufacturing Company . La première machine lourde produite en série fut le tracteur Fordson en 1917.

Le premier véhicule commercial à voie continue était le Lombard Steam Log Hauler de 1901 . L'utilisation de chenilles est devenue populaire pour les chars pendant la Première Guerre mondiale , et plus tard pour les machines civiles comme le bulldozer. Les plus gros véhicules du génie et engins terrestres mobiles sont les excavatrices à godets , construites depuis les années 1920.

"Jusqu'à presque le XXe siècle, un outil simple constituait la principale machine de terrassement : la pelle à main - déplacée avec des traîneaux, des barges et des wagons à propulsion animale et humaine. Cet outil était la principale méthode par laquelle le matériau était soit déplacé latéralement, soit élevé pour être chargé. un moyen de transport, généralement une brouette , ou une charrette ou un chariot tiré par un animal de trait . Dans l'Antiquité, un équivalent de la pelle à main ou de la houe et du panier de tête - et des masses d'hommes - étaient utilisés pour déplacer la terre pour construire des ouvrages de génie civil. Les constructeurs ont longtemps utilisé le plan incliné , les leviers et les poulies pour placer des matériaux de construction solides, mais ces dispositifs d'économie de main-d'œuvre ne se prêtaient pas au terrassement, qui nécessitait de creuser, de soulever, de déplacer et de placer des matériaux en vrac. Les deux éléments requis pour le terrassement mécanisé, alors comme aujourd'hui, étaient une source d'énergie

indépendante et la mobilité hors route, dont aucun ne pouvait être fourni par la technologie de l'époque." [2]

Les grues à conteneurs ont été utilisées à partir des années 1950 et ont rendu possible la conteneurisation .

De nos jours, telle est l'importance de ces engins, certaines sociétés de transport ont développé des équipements spécifiques pour transporter des engins de chantier lourds vers et depuis les chantiers.

La plupart des grands fabricants d'équipements tels que Caterpillar, [3] Volvo, [4] Liebherr, [5] et Bobcat ont lancé ou ont développé des équipements lourds entièrement ou partiellement électriques. Des modèles disponibles dans le commerce et des modèles de R&D ont été annoncés en 2019 et 2020. [6]

La robotique et l'autonomie sont une préoccupation croissante pour les fabricants d'équipements lourds, les fabricants commençant la recherche et l'acquisition de technologies. [7] Un certain nombre d'entreprises développent actuellement (Caterpillar et Bobcat) ou ont lancé (Built Robotics) des solutions commerciales sur le marché.

Les matériels de travaux publics est le nerf du chantier. Les matériels nécessaires sont envoyés sur place, en fonction des besoins du déroulement du chantier, Il est utilisé pour faciliter les travaux publics. Il existe plusieurs types d'équipements selon la spécialité. Les engins et matériels sont un des éléments clés des travaux publics: conçus en fonction des besoins des entrepreneurs, ils ont à leur tour aidé à modeler le visage des chantiers, donnant naissance à une industrie puissante.

1.1 Les matériels de travaux publics

1.2 I.2.1 La niveleuse :

La niveleuse, également connue sous le niveleur de route, est décrite comme une machine robuste conçue avec une longue lame qui est utilisée dans différents secteurs industriels. Les niveleuses sont le plus souvent utilisées dans la construction civile, les travaux routiers et sur les sites miniers pour créer des surfaces lisses et planes. Certaines niveleuses peuvent faire fonctionner plusieurs accessoires ou être conçues pour des tâches spécialisées comme

Introduction Générale

l'exploitation minière souterraine. En génie civil, la niveleuse a pour fonction de « terminer le nivellement » (affiner ou régler précisément).

Les niveleuses sont couramment utilisées dans la construction et l'entretien des routes en terre et en gravier pour créer une surface plane où l'asphalte sera placé. Pour les projets de génie civil, les niveleuses ont pour but d'effectuer un nivellement fin. La niveleuse peut également être trouvée sur les principaux sites miniers du monde entier. Une machine extrêmement polyvalente, les opérateurs de niveleuse sont nécessaires pour une grande variété de tâches de construction, de travaux routiers et d'exploitation minière.



Figure 1 Niveleuses

1.3 I.2.2 Pelle hydraulique :

Les excavatrices sont des engins de chantier lourds constitués d'une flèche, d'un balancier (ou balancier), d'un godet et d'une cabine sur une plate-forme tournante connue sous le nom de "maison". La maison se trouve au sommet d'un train d'atterrissage avec des chenilles ou des roues. Ils sont une progression naturelle des pelles à vapeur et souvent appelés à tort pelles électriques. Tous les mouvements et fonctions d'une pelle hydraulique sont accomplis grâce à l'utilisation de fluide hydraulique, avec des vérins hydrauliques et des moteurs hydrauliques. En raison de l'actionnement linéaire des vérins hydrauliques, leur mode de fonctionnement est fondamentalement différent des excavatrices à câble qui utilisent des treuils et des câbles en acier pour accomplir les mouvements.



Figure 2Pelle hydraulique

1.4 I.2.3 les camions à benne basculante :

1.5 Un camion à benne basculante , est utilisé pour le transport de matériaux (tels que la terre , le gravier ou les déchets de démolition) pour la construction ainsi que le charbon . Un camion à benne basculante typique est équipé d'un lit à caisson ouvert, qui est articulé à l'arrière et équipé de vérins hydrauliques pour soulever l'avant, permettant au matériel dans le lit d'être déposé ("déversé") sur le sol derrière le camion sur le site de livraison. Au Royaume-Uni, en Australie, en Afrique du Sud et en Inde, le terme s'applique uniquement aux usines de construction hors route et le véhicule routier est connu sous le nom de camion à benne basculante, camion à benne basculante (Royaume-Uni, Inde), camion à benne basculante, camion à benne basculante, remorque à benne basculante ou remorque à benne basculante. ou simplement une benne (Australie, Nouvelle-Zélande, Afrique du Sud).



Figure 4Camion à benne standard



Figure 3Camion à benne avec remorque



Figure 5 Camion à benne ROLL-OFF

1.6 I.2.4 Chargeuses :

Un chargeur est un type de tracteur, généralement à roues, parfois sur chenilles, qui a un godet large monté à l'avant relié à l'extrémité de deux flèches (bras) pour ramasser les matériaux en vrac du sol, tels que la terre, le sable ou le gravier, et déplacer-le d'un endroit à un autre sans pousser le matériau sur le sol. Un chargeur est couramment utilisé pour déplacer un matériau stocké du niveau du sol et le déposer dans un camion à benne en attente ou dans une excavation de tranchée ouverte. L'ensemble chargeur peut être un accessoire amovible ou monté en permanence. Souvent, le godet peut être remplacé par d'autres dispositifs ou outils - par exemple, beaucoup peuvent monter des fourches pour soulever des palettes lourdes ou des conteneurs d'expédition, et un godet "à clapet" à ouverture hydraulique permet à un chargeur d'agir comme un bulldozer léger ou un grattoir. Le godet peut également être complété par des dispositifs comme un grappin à balles pour manipuler de grosses balles de foin ou de paille.



Figure 6 Chargeuses

1.7 I.2.5 Compacteurs :

Un compacteur est une machine ou un mécanisme utilisé pour réduire la taille de matériaux tels que les déchets ou la biomasse par compactage . Un compacteur de déchets est souvent utilisé par une maison ou une entreprise pour réduire le volume de déchets qu'il produit.

Les WCV eux-mêmes intègrent un mécanisme de compactage qui est utilisé pour augmenter la charge utile du véhicule et réduire le nombre de fois qu'il doit se vider. Cela prend généralement la forme de plaques coulissantes à commande hydraulique qui balayent la trémie de collecte et compriment le matériau dans ce qui a déjà été chargé. Différents compacteurs sont utilisés dans le traitement de la ferraille , le plus connu étant le broyeur de voitures . Ces dispositifs peuvent être soit du type "crêpe", où une automobile de rebut est aplatie par une énorme plaque hydraulique descendante, soit la presse à balles , où l'automobile est comprimée dans plusieurs directions jusqu'à ce qu'elle ressemble à un gros cube.



Figure 7 Compacteurs

1.8 I.2.6 LES TRACTOPELLES (OU CHARGEUSES PELLETEUSES) :[3]

Un tractopelle est un engin équipé avec un godet à l'avant et porte un pelle en rétro à l'arrière.

Par rapport à ce système, les tracteurs sont très utiles pour les petites entreprises, sur les chantiers de petites tailles, remplacent à la fois un chargeur et une excavatrice.

*L'utilisation - est souvent faite pour les opérations suivantes

Introduction Générale

- charger
- transport des matériaux sur petites distances

manutention ;

- fouille avec pelle en rétro ;

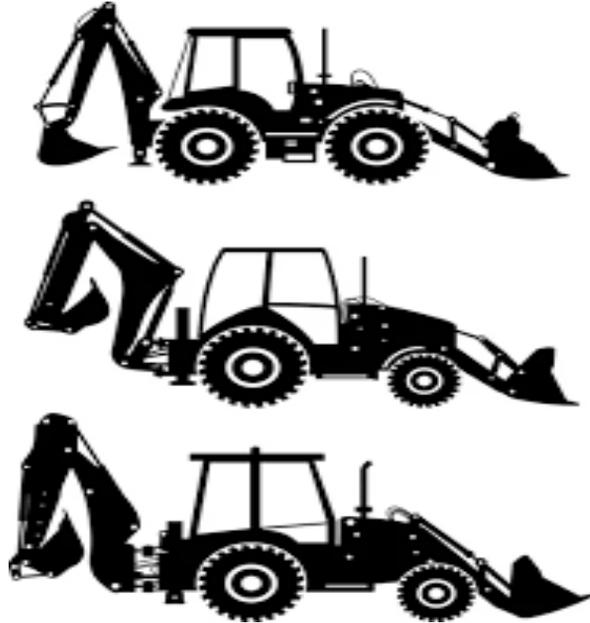


Figure 8LES TRACTOPELLES

1.9

1.10 I.2.7LES SCRAPERS : (Décapeuses)

Définition : les scrapers sont les seuls engins qui peuvent à la fois : fouiller, charger, transporter et répartir la terre sur les distances de 300 à 1.000 m.

◆ D'après la modalité du déplacement, les scrapers peuvent être : - scraper tracté (appelle aussi et wagon scraper) – et dans ce cas il est un engin monté sur deux essieux à pneus, un essieu porteur à l'arrière et un essieu avec timon de remorque et de direction à l'avant, comme sur la figure suivante : <http://module01-ofppt.blogspot.com/>

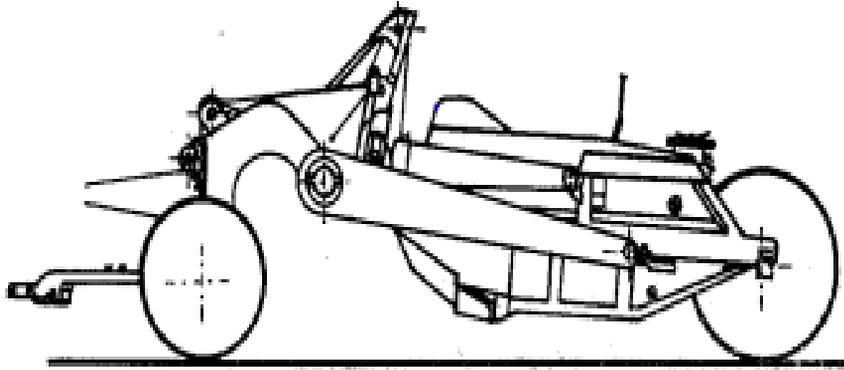


Figure 9 LES SCRAPERS

1. Bétonnière

Une bétonnière est une machine servant à malaxer les différents constituants du mortier (ciment ou chaux, sable, eau) ou du béton. Le mot bétonneuse est parfois employé à la place de bétonnière, mais il s'agit d'un barbarisme

1.11



Figure 10 Bétonnière

1.12 Grue (engin)

Une grue est un appareil de levage et de manutention réservé aux lourdes charges. Cet engin de levage est construit de manière différente selon son utilisation (à terre : grue de chantier, camion-grue ; à bord d'un navire ; d'un dock flottant, etc.)

Chaque grue a une charte qui définit clairement sa capacité de levage en rapport avec le rayon et l'angle de la flèche.



Figure 11 Grue (engin)

Chapitre 02

Présentation du logiciel

SolidWorks

1.13 Le logiciel SolidWorks

2 Définition :

S 2.1 SolidWorks est un logiciel propriétaire de conception assistée par ordinateur 3D fonctionnant sous Windows.
Formats lus : Fichier de stéréo lithographie

Première version : 21 mars 1995

Dernière version : SolidWorks 2019 SPO (octobre 2018)

Système d'exploitation : Microsoft Windows

Type : Logiciel de conception assistée par ordinateur ; Conception paramétrique

Solidworks est essentiellement un système de modélisation solide 3D et une version améliorée du système de conception assistée par ordinateur (CAO) pour le logiciel de modélisation 3D développé par le système d'exploitation Windows . En fait, le tridimensionnel (3D) présente des entités plus intuitives et solides à travers trois dimensions ou trois coordonnées, et le bidimensionnel (2D) présente des graphiques exprimés par des coordonnées. Solidworks est conçu avec paramétrique comme moteur principal, et il est équipé de puissantes fonctions de modélisation et d'une modélisation efficace, ce qui le distingue dans de nombreux programmes de modélisation 3D et devient l'un des plus faciles à maîtriser pour le fonctionnement et l'interface.

2.2 Navigation dans l'interface de SolidWorks

L'interface SolidWorks offre une large gamme d'outils. Vous trouverez plus d'une façon de faire presque tout. Il n'y a pas de meilleure façon d'utiliser l'interface ; ce livre montre généralement les méthodes les plus standardisées et les plus rapides. Dans ce chapitre, je commence par afficher l'intégralité de l'interface par défaut, mais dans le reste du livre, je ne montrerai qu'une interface réduite, principalement pour économiser de l'espace et garder le focus sur la fenêtre graphique.

Après avoir maîtrisé les différents éléments de l'interface et personnalisé votre installation SolidWorks, travailler avec le logiciel deviendra beaucoup plus efficace et satisfaisant.

2.3 concepts

Les pièces sont les blocs de construction de base du logiciel SOLIDWORKS. Les assemblages contiennent des pièces ou d'autres assemblages, appelés sous-assemblages.

Un modèle SOLIDWORKS se compose d'une géométrie 3D qui définit ses arêtes, ses faces et ses surfaces. Le logiciel SOLIDWORKS vous permet de concevoir des modèles rapidement et avec précision. Les modèles SOLIDWORKS sont :

- basés sur la modélisation 3D
- basés sur les compo

2.4 modélisation 3D

SOLIDWORKS utilise une approche de conception 3D. Lorsque vous concevez une pièce, de l'esquisse initiale au résultat final, vous créez un modèle 3D. À partir de ce modèle, vous pouvez créer des dessins 2D ou des composants d'assemblage constitués de pièces ou de sous-assemblages pour créer des assemblages 3D. Vous pouvez également créer des dessins 2D d'assemblages 3D.

2.5 Terminologie

Ces termes apparaissent à travers le logiciel et la documentation SOLIDWORKS.

origine Apparaît sous la forme de deux flèches bleues et représente la coordonnée (0,0,0) du modèle. Lorsqu'une esquisse est active, une origine d'esquisse apparaît en rouge et représente la coordonnée (0,0,0) de l'esquisse. Vous pouvez ajouter des cotes et des relations à l'origine d'un modèle, mais pas à une origine d'esquisse.

Plan Géométrie de construction plate. Vous pouvez utiliser des plans pour ajouter une esquisse 2D, une vue en coupe d'un modèle ou un plan neutre dans une fonction de dépouille

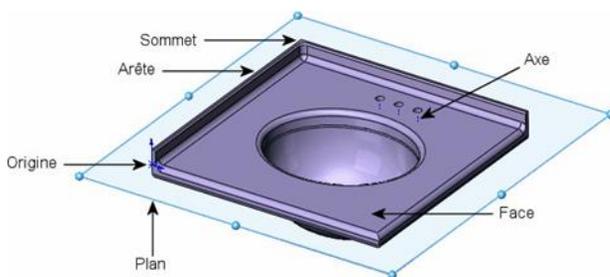
Axe Ligne droite utilisée pour créer la géométrie, les fonctions ou les motifs du modèle. Vous pouvez créer un axe de différentes manières, notamment en croisant deux plans. L'application SOLIDWORKS crée implicitement des axes temporaires pour chaque face conique ou cylindrique d'un modèle.

Chapitre 02 Le logiciel SolidWorks

Face Limites qui aident à définir la forme d'un modèle ou d'une surface. Une face est une zone sélectionnable (plane ou non) d'un modèle ou d'une surface. Par exemple, un solide rectangulaire a six faces.

Arête Emplacement où deux faces ou plus se croisent et se rejoignent. Vous pouvez sélectionner des arêtes pour l'esquisse et la cotation

Sommet Point auquel deux lignes ou arêtes ou plus se croisent. Vous pouvez sélectionner des sommets pour l'esquisse et la cotation



2.6 Interface utilisateur

L'application SOLIDWORKS comprend des outils et des fonctionnalités d'interface utilisateur pour vous aider à créer et à modifier des modèles efficacement, notamment :

2.7 fonctionnalité windows

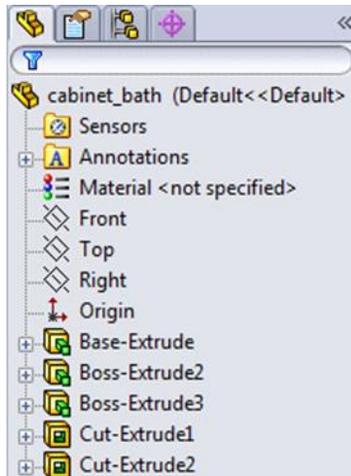
L'application SOLIDWORKS comprend des fonctions Windows familières, telles que le déplacement et le redimensionnement des fenêtres. La plupart des mêmes icônes, telles que imprimer, ouvrir, enregistrer, couper et coller font également partie de l'application SOLIDWORKS.

2.8 fenêtres de documents

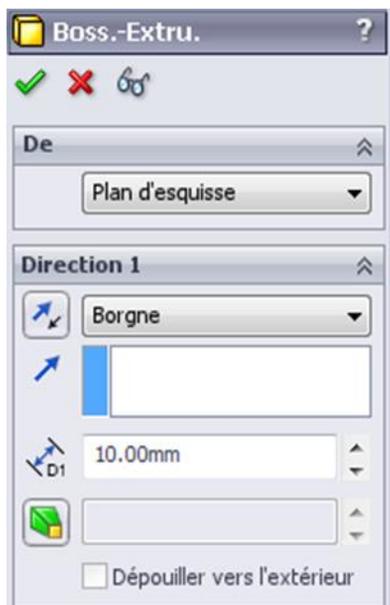
Les fenêtres de document SOLIDWORKS comportent deux volets. Le panneau de gauche, ou volet du gestionnaire, contient :

2.9 Arber de création feature manager

Affiche la structure de la pièce, de l'assemblage ou de la mise en plan. Sélectionnez un élément dans l'arbre de création FeatureManager pour modifier l'esquisse sous-jacente, modifier la fonction, supprimer et démasquer la fonction ou le composant, par exemple.



2.10 gestionnaire immobilier Fournit des paramètres pour de nombreuses fonctions telles que les esquisses, les fonctions de congé et les contraintes d'assemblage.



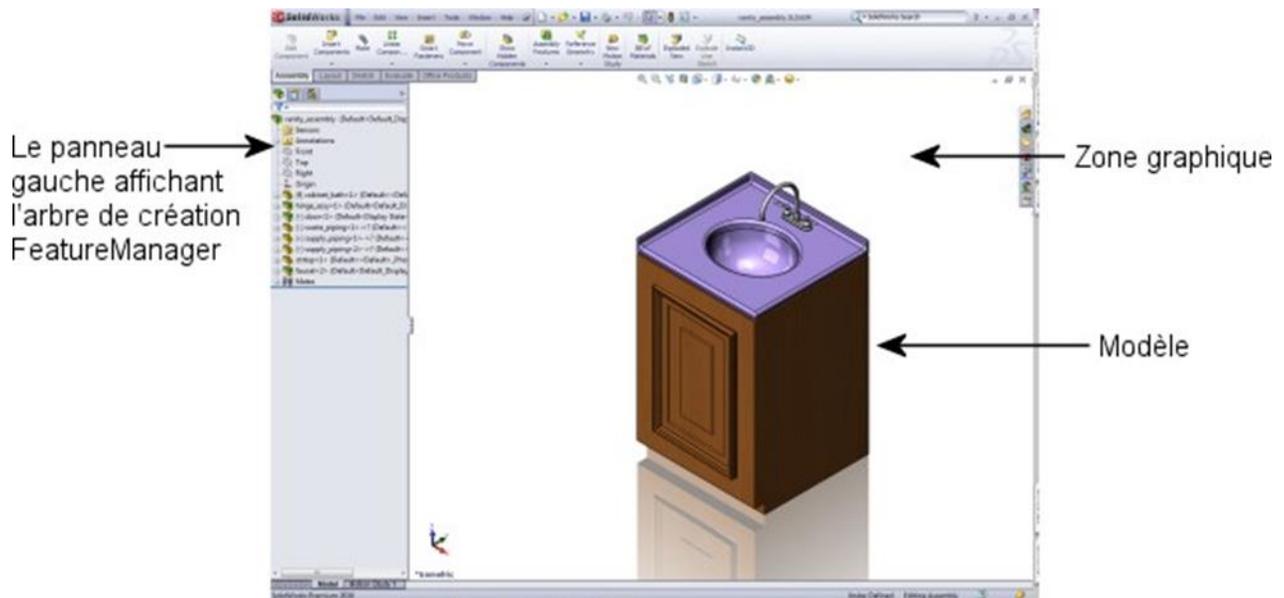
2.10 configuration manager

Vous permet de créer, de sélectionner et d'afficher plusieurs configurations de pièces et d'assemblages dans un document. Les configurations sont des variantes d'une pièce ou d'un assemblage dans un même document. Par exemple, vous pouvez utiliser les configurations d'un boulon pour spécifier différentes longueurs et diamètres.



Chapitre 02 Le logiciel SolidWorks

Le panneau de droite est la zone graphique, dans laquelle vous créez et manipulez une pièce, un assemblage ou une mise en plan.

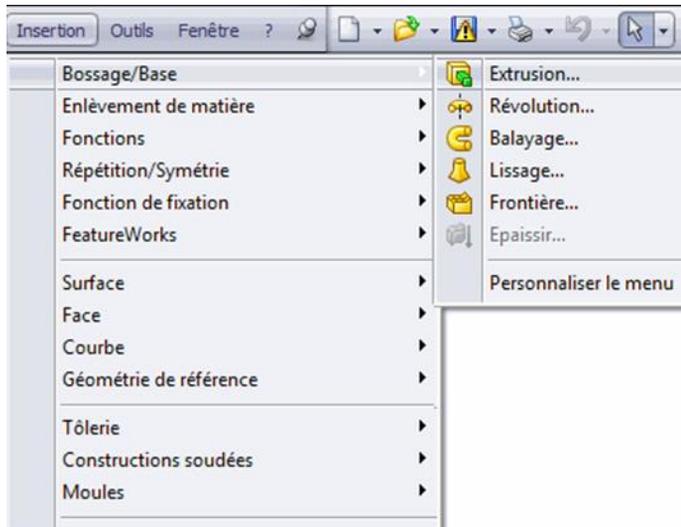


2.11 Sélection et retour d'information

L'application SOLIDWORKS vous permet d'effectuer des tâches de différentes manières. Il fournit également des commentaires lorsque vous effectuez une tâche telle que l'esquisse d'une entité ou l'application d'une fonction. Des exemples de commentaires incluent des pointeurs, des lignes d'inférence et des aperçus.

2.12 Menus

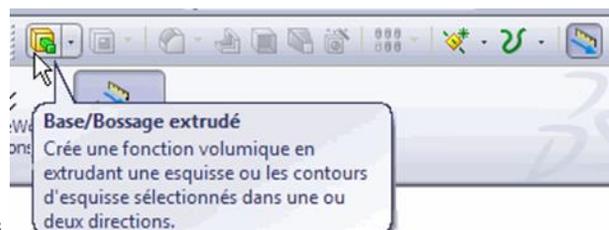
Vous pouvez accéder à toutes les commandes SOLIDWORKS à l'aide des menus. Les menus SOLIDWORKS utilisent les conventions Windows, y compris les sous-menus et les coches pour indiquer qu'un élément est actif. Vous pouvez également utiliser des menus contextuels contextuels en cliquant sur le bouton droit de la souris.



2.13 Barres d'outils

Vous pouvez accéder aux fonctions SOLIDWORKS à l'aide des barres d'outils. Les barres d'outils sont organisées par fonction, par exemple, la barre d'outils Esquisse ou Assemblage. Chaque barre d'outils comprend des icônes individuelles pour des outils spécifiques, tels que Rotation de la vue, Motif circulaire et Cercle.

Vous pouvez afficher ou masquer les barres d'outils, les ancrer autour des quatre bordures de la fenêtre SOLIDWORKS ou les faire flotter n'importe où sur votre écran. Le logiciel SOLIDWORKS mémorise l'état des barres d'outils d'une session à l'autre. Vous pouvez également ajouter ou supprimer des outils pour personnaliser les barres d'outils. Les info-bulles



s'affichent lorsque vous survolez chaque icône.

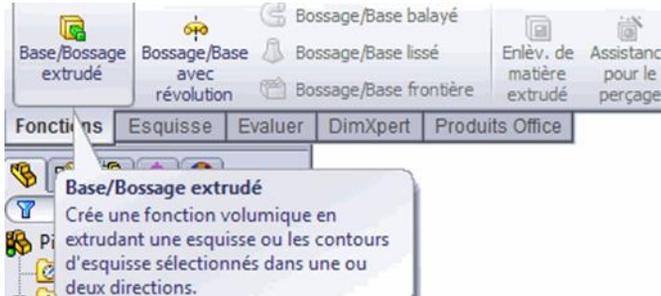
2.14 Gestionnaire de commandes

Le CommandManager est une barre d'outils contextuelle qui se met à jour dynamiquement en fonction du type de document actif.

Lorsque vous cliquez sur un onglet sous le CommandManager, il se met à jour pour afficher les outils associés. Chaque type de document, tel que pièce, assemblage ou mise en plan, possède différents onglets définis pour ses tâches. Le contenu des onglets est personnalisable, similaire

Chapitre 02 Le logiciel SolidWorks

aux barres d'outils. Par exemple, si vous cliquez sur l'onglet Fonctionnalités, les outils liés aux fonctionnalités s'affichent. Vous pouvez également ajouter ou supprimer des outils pour personnaliser. Les info-bulles s'affichent lorsque vous survolez chaque icône.

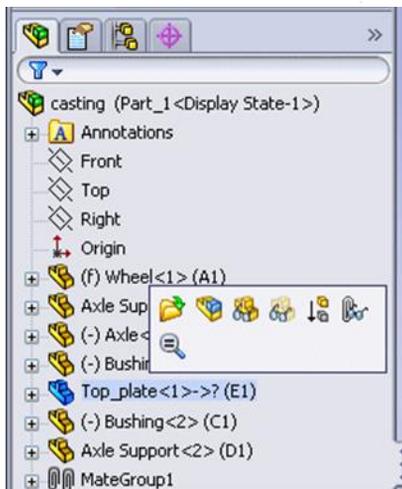
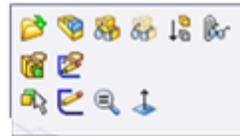


2.15 Barres de raccourcis

Des barres de raccourcis personnalisables vous permettent de créer vos propres jeux de commandes en mode Pièce, Assemblage, Mise en plan et Esquisse. Pour accéder à ces barres, appuyez sur un raccourci-clavier défini par l'utilisateur, par défaut, la touche S.

2.16 Barres d'outils contextuelles

Des barres contextuelles apparaissent lorsque vous sélectionnez des éléments dans la zone graphique ou dans l'arbre de création FeatureManager. Elles permettent d'accéder à des actions fréquentes pour ce contexte. Des barres d'outils contextuelles sont disponibles pour les pièces, les assemblages et les esquisses.



2.17 Boutons de la souris

Les boutons de la souris fonctionnent comme décrit ci-dessous :

GAUCHE Permet de sélectionner des options de menu, des entités dans la zone graphique et des objets dans l'arbre de création FeatureManager.

DROITE Permet d'afficher les menus contextuels.

MILIEU Permet de faire pivoter, et d'effectuer un panoramique ou un zoom sur une pièce ou un assemblage. Permet aussi d'effectuer un panoramique dans une mise en plan.

MOUVEMENTS DE LA SOURIS Vous pouvez utiliser un geste de la souris comme raccourci pour exécuter une commande, similaire à un raccourci clavier. Une fois que vous avez appris les mappages de commandes, vous pouvez utiliser les gestes de la souris pour appeler rapidement les commandes mappées.

Pour activer un geste de la souris, depuis la zone graphique, faites glisser vers la droite dans la direction du geste qui correspond à la commande.

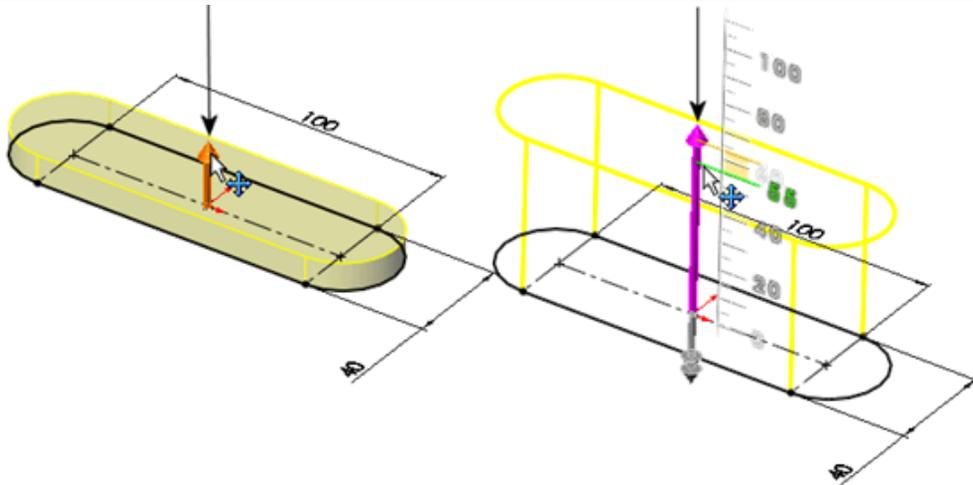
Lorsque vous faites glisser vers la droite, un guide apparaît, montrant les mappages de commandes pour les directions gestuelles

2.18 Personnalisation de l'interface utilisateur

Vous pouvez personnaliser les barres d'outils, les menus, les raccourcis clavier et d'autres éléments de l'interface utilisateur.

2.19 Poignées

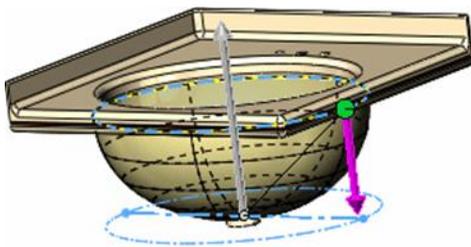
Vous pouvez utiliser le Property Manager pour définir des valeurs telles que la profondeur d'une extrusion. Vous pouvez également utiliser des poignées graphiques pour faire glisser et définir des paramètres dynamiquement sans quitter la zone graphique.



2.20 Aperçus

la plupart des fonctions, la zone graphique affiche un aperçu de la fonction que vous souhaitez créer. Les aperçus sont affichés avec des fonctionnalités telles que les extrusions de base ou de bossage, les extrusions coupées, les balayages, les lissages, les motifs et les surfaces.

2.21 Aperçu de lissage



2.22 Retour d'information fourni par le pointeur

Dans l'application SOLIDWORKS, le pointeur change pour afficher le type d'objet, par exemple, un sommet, une arête ou une face. Dans les esquisses, le pointeur change de manière dynamique, fournissant des données sur le type d'entité d'esquisse et la position du pointeur par rapport aux autres entités d'esquisse. Exemple:



Indique une esquisse rectangulaire.



indique le milieu d'une ligne ou d'une arête d'esquisse. Pour sélectionner un milieu, cliquez avec le bouton droit sur la ligne ou l'arête, puis cliquez sur Sélectionner le milieu.

2.23 Filtrés de sélection

Les filtres de sélection vous aident à sélectionner un type particulier d'entité, excluant ainsi la sélection d'autres types d'entités dans la zone graphique. Par exemple, pour sélectionner une arête dans une pièce ou un assemblage complexe, sélectionnez Filtrer les arêtes pour exclure d'autres entités.

Les filtres ne sont pas limités aux entités telles que les faces, les surfaces ou les axes. Vous pouvez également utiliser le filtre de sélection pour sélectionner des annotations de dessin spécifiques, telles que des notes et des bulles, des symboles de soudure et des tolérances géométriques.

De plus, vous pouvez sélectionner plusieurs entités à l'aide de filtres de sélection. Par exemple, pour appliquer un congé, une fonction qui arrondit les arêtes, vous pouvez sélectionner une boucle composée de plusieurs arêtes adjacentes.

2.24 Sélection autre

Utilisez l'outil Sélectionner autre pour sélectionner des entités masquées visuellement par d'autres entités. L'outil masque les entités masquées ou vous permet de sélectionner dans une liste d'entités masquée

2.25 processus de conception

Le processus de conception comprend généralement les étapes suivantes :

- Identifier les exigences du modèle.
- Conceptualiser le modèle en fonction des besoins identifiés.
- Développer le modèle basé sur les concepts.
- Analysez le modèle.
- Prototyper le modèle.
- Construire le modèle.

- Modifiez le modèle, si nécessaire.

2.26 Méthode de conception

Avant de procéder réellement à la conception du modèle, il est utile de planifier sa méthode de création.

Après avoir identifié les besoins et isolé les concepts appropriés, vous pouvez développer le modèle :

Esquisses : Créez les esquisses et décidez comment coter et où appliquer les relations.

Fonctions : Sélectionnez les fonctions appropriées, telles que les extrusions et les congés, déterminez les meilleures fonctions à appliquer et décidez dans quel ordre appliquer ces fonctions.

Assemblages : Sélectionnez les composants à contraindre et les types de contraintes à appliquer.

2.27 Fonctionnement :

SolidWorks est un modéleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation. Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés.

Un dossier complet contenant l'ensemble des relatifs à un même système constitue une maquette numérique. De nombreux logiciels viennent compléter l'éditeur SolidWorks. Des utilitaires orientés métiers (tôlerie, bois, BTP...), mais aussi des applications de simulation mécanique ou d'image de synthèse travaillent à partir des éléments de la maquette virtuelle.

2.28 Les pièces:

La pièce est l'objet 3D monobloc. La modélisation d'une telle entité dépendra de la culture de l'utilisateur. Comme de nombreux logiciels conviviaux, SolidWorks permet d'aboutir à un même résultat apparent par des voies souvent différentes. C'est lors de la retouche de ces fichiers ou de leur exploitation qu'on appréciera la bonne méthode.

Une pièce est la réunion d'un ensemble de fonctions volumiques avec des relations d'antériorité, des géométriques, des relations booléennes (ajout retrait)... Cette organisation est rappelée sur l'arbre de construction. Chaque ligne est associée à une fonction qu'on peut renommer à sa guise.

Trois générations de volume à partir d'une même section : droite (aspect bois), révolution partielle

(en rouge), et gauche

2.29 Parmi les fonctions génératrices il existe :

l'extrusion : déplacement d'une section droite dans une direction perpendiculaire à la section. La section est définie dans une esquisse (qui apparaît alors dans l'arbre de création comme élément générateur de la fonction). Cette esquisse contient l'ensemble des spécifications géométriques (cotation) nécessaires à la complète définition de la section. Cet ensemble de cotes auquel il faut ajouter la (ou les) longueur d'extrusion constitue l'ensemble des paramètres de la fonction ; il est possible de les modifier une fois la fonction validée. Les extrusions peuvent également être réalisées en s'appuyant sur des esquisses 3D la révolution : déplacement d'une section droite autour d'un axe, ou extrusion suivant un cercle ou un arc de cercle.

Le balayage : déplacement d'une section droite le long d'une ligne quelconque. Lorsque la

Génératrice de balayage est gauche, l'esquisse est en 3 dimensions.

D'autres fonctions, plutôt orientées métier intègrent des notions qu'il serait fastidieux de modéliser

* congés et chanfreins,

* nervure,

* dépouille, coque (permettant d'évider un objet en lui conférant une épaisseur constante), trous normalisés (perçages, mortaises...), plis de tôle...

Des fonctions d'ordre logiciel comme la répétition linéaire, circulaire, curviligne ou par symétrie... Les dernières versions autorisent la réalisation de pièces momentanément disjointes, ce qui permet de concevoir un objet fonctionnellement, c'est-à-dire en définissant d'abord les éléments fonctionnels, puis enjoignant les différentes parties par de la matière (nervures, carter...).

Chapitre 02 Le logiciel SolidWorks

L'édition de familles de pièces est possible en associant à SolidWorks, le tableur Microsoft Excel. Un tableau devient ainsi éditeur des références (lignes) donnant la valeur des paramètres variables des fonctions (colonnes) :

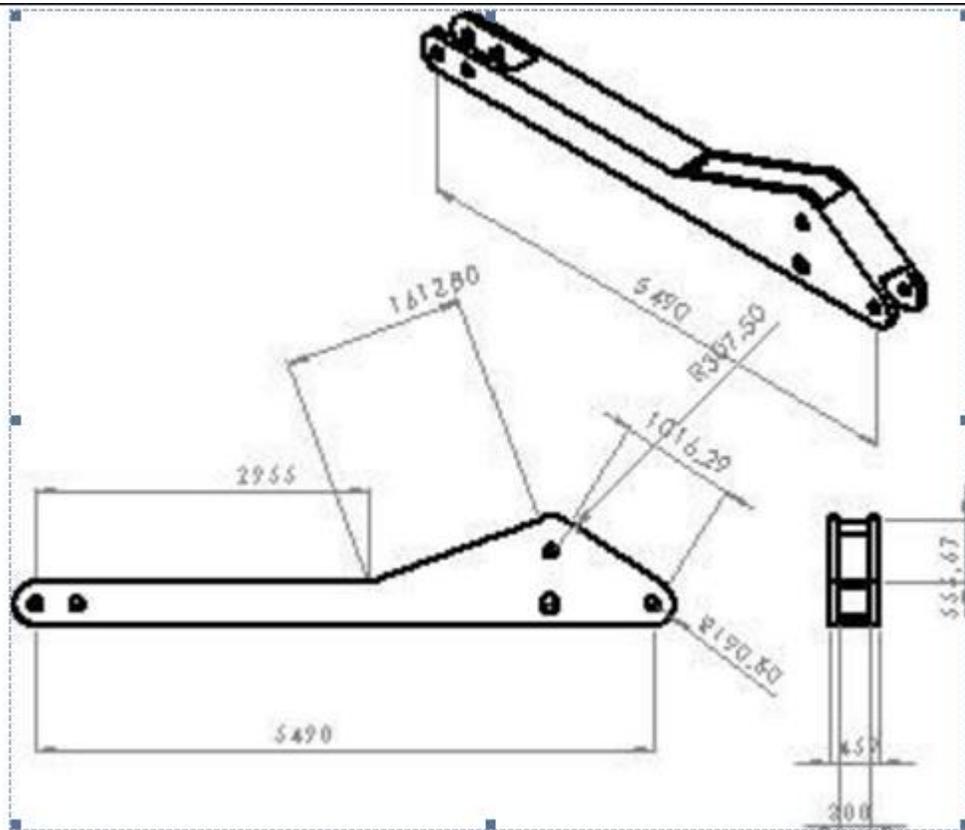
valeur de certaines cotes • valeur de certaines propriétés (nombre d'occurrences...) ; état de suppression d'une fonction.

Ainsi, il est possible d'obtenir à partir d'un seul fichier de type pièce, l'ensemble des modèles de vis d'assemblage (toutes forme de tête ou dimensions), ou encore toutes les combinaisons de briques Lego (1x1, 1x2 etc.).

Avec tous ces outils, la méthode de conception d'une pièce très proche du métier du concepteur qui ne se soucie plus de savoir où placer les traits du dessin mais les formes de la pièce.

Les possibilités d'éditations sont complétées par un ensemble d'outils de mesures géométriques. Ainsi il est possible de connaître le volume de la pièce, son poids, la position de centre de masse, sa matrice d'inertie, la surface...

2.30 Les mises en plan



Les mises en plan concernent à la fois les pièces (dessin de définition) ou les assemblages (dessin d'ensemble). Pour aboutir à un plan fini d'une pièce on peut estimer mettre 2 fois moins de temps qu'avec un outil DAO (temps de conception et exécution du dessin). En effet, en DAO, chaque trait est indépendant, et c'est au dessinateur de savoir quelles entités graphiques sont concernées par une modification. Le logiciel 31) ne fait qu'une projection de l'objet. Les modifications éventuelles sont opérées sur l'objet représenté, et ne concernent pas directement le plan.

2.31 Vues

La projection sur plan du modèle ne pose aucun problème. Aujourd'hui il est très facile d'obtenir un plan, forcément juste (avec un logiciel de DAO il est possible d'éditer un plan faux !). Les vues en coupes, les vues partielles, perspectives, sont exécutées d'un simple clic. Les seuls problèmes encore rencontrés concernent la représentation des filetages et taraudages dans les assemblages. De plus, chaque vue peut être exécutée avec un habillage différent, filaire, conventionnel ou ombré rendant encore plus accessible la lecture de plans aux non-initiés.

2.32 Cotation

La cotation regroupe l'ensemble des spécifications géométriques définissant la pièce. Bien sûr, les paramètres déclarés des esquisses en font partie. Ils peuvent être automatiquement intégrés, de manière équilibrée, à la mise en plan. À ce niveau, il est encore possible de modifier la pièce en changeant la valeur des côtes. L'indépendance de ces paramètres, se rapproche du principe dit d'indépendance (cotation GPS). Cependant, la mise en forme définitive de la cotation demande encore un peu de travail (avec un éditeur DAO ou sur le calque aussi !).

2.33 Fond de plan

SolidWorks par défaut propose son propre fond de plan. Mais il est possible de les faire soi-même ; Il existe deux types de fond de plan .

*Le fond de plan statique, où il faut remplir à la main chacun des champs.

*Le fond de plan dynamique, où il se remplit automatiquement suivant les paramètres mis dans l'assemblage ou dans la pièce.

*Des modèles sont proposés (équivalent du . dot de Word).

2.34 Nomenclature

Le fichier assemblage contient chacune des pièces qui composent l'assemblage, on peut donc sortir de façon automatique la nomenclature appartenant à la maquette 3D.

2.35 Les extensions des fichiers

La simple ouverture d'un fichier dans une version ultérieure le rend inutilisable pour toute version antérieure.

Vu leur très faible interopérabilité et le fait que leur contenu soit sauvé sans que l'on utilise la commande de sauvegarde, ces fichiers SolidWorks ne doivent pas être considérés comme des sauvegardes à long terme d'un contenu, mais comme une simple extension de la mémoire physique ayant la propriété de rémanence.

Chaque type de fichier possède une extension qui lui est propre

*.sldprt, pour les fichiers pièce

*.sldasm, pour les fichiers assemblage .

*slddrw, pour les fichiers plans

*.slddrt, pour les fichiers de fond de plan

Certains formats proposés par le logiciel permettent d'envisager une sauvegarde à long terme.

Chapitre 03

Modélisation

3 Introduction:

Les excavatrices sont utilisées pour l'excavation dans l'industrie de construction en raison de leur polyvalence et de leur commodité [1],[2]. Ces machines sont classées en fonction de la capacité d'excavation, du volume du godet et de la configuration de transport. Même une petite amélioration des performances de la machine améliorerait la productivité globale [3] – [4] [5]. Les excavatrices sont également utilisées dans l'exploitation minière, l'agriculture, la gestion des déchets, la foresterie, le creusement de tunnels, le creusement de niveau, les travaux de finition de surfaces planes, la pose de conduites et les applications militaires qui nécessitent une efficacité de charge de travail élevée, un faible coût de maintenance et des niveaux de sécurité élevés [2], [6]. Les catastrophes urbaines récentes ont mis en évidence la nécessité pour les excavatrices spécialisées de mener des opérations de sauvetage qui sont dangereuses pour les équipes de secours humaines/canines en raison de débris instables, ainsi que de la présence de produits chimiques dangereux qui peuvent être présents [9] – [10] [11].

Dans ce chapitre, nous présentons les les excavatrices sous les aspects du contrôle, de la modélisation sol-outil, de l'analyse de trajectoire, de l'efficacité énergétique.

3.1 Exigences de l'industrie de construction :

L'industrie de construction exige constamment une productivité plus élevée, une diminution des coûts d'exploitation (carburant, usure), une réduction des risques pour les êtres humains et une amélioration de la disponibilité des équipements avec la demande croissante de propriétés bâties [1],[2]. Les tâches de génie civil sont souvent dangereuses et pénibles [3] bien qu'elles soient réalisées dans des environnements contrôlés [4]. L'automatisation des excavatrices devrait réduire les accidents [3], améliorer l'efficacité [5], [6] et améliorer la capacité à fonctionner dans des environnements dangereux [7]. L'automatisation permet aux opérateurs humains de se concentrer sur des tâches de haut niveau telles que la désignation des zones de creusement pour soulager la fatigue et les erreurs de l'opérateur. La tâche d'excavation est subjective, c'est-à-dire qu'elle varie selon l'opérateur, l'équipement et l'environnement [8]. Par conséquent, il serait souhaitable d'identifier les paramètres de fonctionnement optimaux pour les excavatrices et de les intégrer dans un environnement de construction planifié [9]. Les simulateurs peuvent être utilisés pour la formation des opérateurs, la validation et l'analyse des systèmes de contrôle et des

capteurs, ce qui entraîne une réduction des coûts globaux d'équipement et des coûts de formation [4], [10].

Des systèmes d'excavatrices efficaces ont des caractéristiques de sécurité accrues sont nécessaires pour l'avenir. Des simulateurs capables de fournir une formation visuellement et dynamiquement réaliste augmenteraient la technologie des excavatrices. La modélisation cinématique est restée inchangée depuis 1994 [11]. Les trajectoires des opérateurs humains diffèrent de celles des contrôleurs dynamiques. La dynamique a été modélisée en trois méthodes. La dynamique du manipulateur n'a été rapportée que pour 3 degrés de liberté (DOF) en raison de la complexité du problème. Le contrôle adaptatif et robuste s'est avéré prometteur et supérieur au PD ou au PID pour gérer de grandes forces variables dans le temps non linéaires typiques des systèmes d'excavation. Les contrôleurs avancés tels que les dispositifs haptiques [12] et l'interface cerveau-machine [13] – [14] [15] ainsi que le contrôle partagé homme-machine [16] – [17] [18] offrent des améliorations de fonctionnement prometteuses.

La modélisation de l'interaction outils-sol est hautement non linéaire et dynamique. Les modèles récents ont surmonté de longs temps de calcul pour arriver à des modèles suffisamment précis pour creuser l'interaction [19]. Les environnements d'essai en laboratoire et sur les sites d'excavation réels varient considérablement [20]. La tâche de creusement n'est pas répétable en raison d'un environnement hautement dynamique ; par conséquent, les méthodes prédictives d'estimation des forces échouent [21]. La capacité de creuser différents types de sol est impérative pour les excavatrices. Des outils récemment développés tels qu'un contrôle adaptatif robuste [22], ainsi que des modèles d'interaction sol-outil plus précis [19], [23] peuvent détenir la clé de l'automatisation complète des pelles. Les systèmes de simulation et d'émulation peuvent fournir une plate-forme pour tester les systèmes de contrôle, les capteurs et l'ergonomie.

L'exigence la plus sensible des excavatrices est peut-être son application dans les opérations de sauvetage. À la lumière des récentes catastrophes urbaines en Inde, au Bangladesh et au Japon, l'importance des robots de sauvetage dédiés a été soulignée. Les robots sont consommables ou réparables et peuvent accomplir des tâches de sauvetage et accéder à des zones éloignées qui contiennent des débris instables et des substances dangereuses. Les catastrophes urbaines nécessitent une interaction homme-machine ainsi qu'un contrôle partagé et des robots semi-autonomes. Les opérateurs de robots sont souvent fatigués et leurs sens sont obstrués par la

poussière, le bruit, les produits chimiques, etc., ce qui rend le fonctionnement à distance traditionnel extrêmement difficile [9], [11]. Les opérations de sauvetage sont limitées dans le temps car les taux de survie sont les plus élevés dans les 72 heures suivant un événement.

3.2 Modélisation de la partie opérative de la pelle hydraulique :

Dans cette section, le modèle dynamique du sous-système mécanique sera dérivé. A cet effet, les hypothèses simplificatrices suivantes sont retenues :

Les liens du manipulateur sont supposés être des corps rigides parfaits ;

Seuls les organes principaux sont considérés comme pertinents dans la dynamique des liens ;

Le frottement dans les articulations rotoïdes est négligeable.

3.3 Modèle cinématique :

Pour décrire la cinématique des corps, on utilise un repère inertiel orthonormal (O_0, x_0, y_0, z_0) fixé au centre de l'articulation de la base du manipulateur, ainsi qu'un repère local 1 solide de la base, d'origine confondue avec l'origine du repère inertiel et de coordonnées (O_1, x_1, y_1, z_1) . Ce cadre décrit la position de la base par rapport au cadre I à l'aide du déplacement angulaire θ_1 , qui est défini positif lors d'un déplacement dans le sens antihoraire, selon la règle de la main

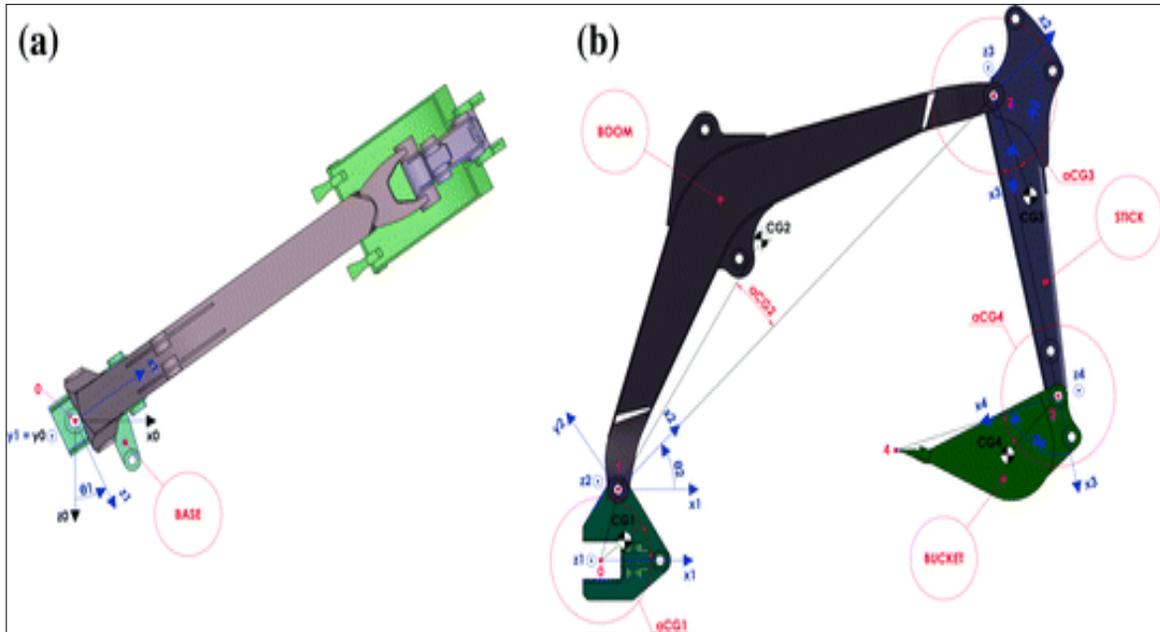


Figure 12 Les coordonnées généralisées

droite. Pour décrire la position de la flèche par rapport au châssis de base et pour décrire la position du godet par rapport au châssis de balancier, les châssis locaux 2, 3 et 4 sont nécessaires, qui sont respectivement solidaires à la flèche, du balancier et du godet. Les systèmes de coordonnées (O_2, x_2, y_2, z_2) , (O_3, x_3, y_3, z_3) et (O_4, x_4, y_4, z_4) avec les déplacements angulaires θ_2 , θ_3 et θ_4 concernent respectivement les repères 2, 3 et 4. L'ensemble des déplacements angulaires $(\theta_1, \dots, \theta_4)$ sont les coordonnées généralisées. Pour plus de commodité, un numéro est attribué au centre des articulations et des liens du manipulateur. Le centre du joint de base est le point 0, le centre du joint de la flèche est le point 1, le centre du joint du bras est le point 2, le centre du joint du godet est le point 3 et la pointe des dents du godet est le point 4. La base, la flèche, bâton et godet sont respectivement les maillons 1, 2, 3 et 4. La figure.1 montre tous les cadres, liens, coordonnées généralisées et points définis ci-dessus.

Ensuite, nous formalisons les orientations et les positions de tous les liens par rapport au repère fixe. Pour décrire l'orientation nous considérons deux repères j et $j - 1$ tel que les origines des

Chapitre 03 Modélisation

deux repères O_j et O_{j-1} coïncidons ensemble. La rotation du repère j par rapport au repère $j - 1$ est décrit par la matrice de rotation R_j . Cette matrice est orthogonale cad $R_j^{-1} = R_j^T$.

Soit ω la vitesse de rotation angulaire du repère j par rapport au repère $j - 1$. Pour décrire le vecteur de vitesse absolue de j dans le repère fixe I , il faut considérer le vecteur de vitesse angulaire absolue ω_{j-1}^I de $j - 1$ de plus la rotation de $j - 1$ par rapport au repère j est exprimé dans le repère fixe comme suit :

$${}^I\omega_j = {}^I\omega_{j-1} + {}^I\mathbf{R}_{j-1} {}^{j-1}\omega_{j-1,j} = {}^I\omega_{j-1} + {}^I\omega_{j-1} - j \dots \dots \dots (3.1)$$

Maintenant, considérant que $j = i$, with $i = 1, \dots, N$ liens, donc, l'équation (3.1) peut être réécrit comme suit :

$${}^I\omega_i = {}^I\omega_{i-1} + {}^I\mathbf{R}_{i-1} {}^{i-1}\omega_{i-1,i} = {}^I\omega_{i-1} + {}^I\omega_{i-1}j \dots \dots \dots (3.2)$$

Associons ${}^I\omega_i$ avec le vecteur de vitesse angulaire du lien i du manipulateur, il est possible d'obtenir les vecteurs d'accélération angulaire de ce lien en faisant ${}^I\alpha_i = \dot{{}^I\omega}_i$.

Pour la position, nous tenons en compte tout point CGi appartenant au manipulateur, donc son vecteur de position peut être décrit dans l'origine du repère j comme vecteur absolue de position.

Pour simplifier les expressions cinématiques, les vecteurs absolus seront écrits dans le repère local. Pour ce faire, la rotation $\eta_i = {}^I\mathbf{R}_i^T \eta_i$ avec η_i un vecteur absolu arbitraire, sera effectuée. Désormais, la notation sans exposant à gauche sera utilisée pour indiquer un vecteur absolu écrit en base de repère local. Par la méthode de Kane, le modèle de dynamique des liens est dérivé sur la base de l'équilibre dynamique entre les forces d'inertie généralisées, F_k , et forces actives généralisées, F_k , selon l'éq. (4) adapté de Baruh [8] :

$$\underbrace{\sum_{i=1}^N \left(m_i \mathbf{a}_{CGi}^T \frac{\partial v_{CGi}}{\partial \dot{q}_k} + \dot{\mathbf{H}}_i^T \frac{\partial \omega_i}{\partial \dot{q}_k} \right)}_{F_k^*} = \underbrace{\sum_{i=1}^N \left(\mathbf{F}_i^T \frac{\partial v_{CGi}}{\partial \dot{q}_k} + \mathbf{M}_i^T \frac{\partial \omega_i}{\partial \dot{q}_k} \right)}_{F_k} \dots \dots \dots (3.3)$$

Tel que:

m_i : est la masse du lien i

q_k : est la coordonné généralisée

H_i : est le vecteur de moment du liens i

$$\dot{H}_i = I_i \alpha_i + \omega_i \wedge (I_i \omega_i) \dots \dots \dots (3.4)$$

Le vecteur des forces actives F_i et la somme des vecteurs de moments actifs généralisés $M_i^T (\partial \omega_i / \partial \dot{q}_k)$ sont donnés respectivement par :

$$F_i = G_{CGi} = {}^I R_i^T {}^I G_{CGi} \dots \dots \dots (3.5)$$

$$\sum_{i=1}^N M_i^T \frac{\partial \omega_i}{\partial \dot{q}_k} = \tau_k$$

Ou ${}^I G_{CGi} = [0 \quad m_i g \quad 0]^T$ est le vecteur poids-force du lien i , avec g l'accélération de la gravité dans la direction verticale, et τ_k est le couple moteur.

3.4 La force hydraulique :

Le couple moteur τ_k peut être lié à la force hydraulique F_{hk} par le principe des travaux virtuels [5], aboutissant à $\tau_k = F_{hi} (\partial l_{CiHi} / \partial q_k)$, où l_{CiHi} est la longueur entre les points Ci et Hi , avec $i = 1, \dots, N$ vérins et $i = k$. Pour déterminer les longueurs des vérins en fonction des coordonnées généralisées, l'analyse cinématique inverse des vérins est effectuée [5], en prenant la Figure. 3.2 comme référence. D'après la Fig. 2 a on obtient pour le cylindre 1 :

$$\alpha_{BA} = \theta_1 + \delta_{BA1} \dots \dots \dots (3.6)$$

$$l_{C1+H1} = \sqrt{l_{0-C1}^2 + l_{0-H1}^2 - 2l_{0-C1}l_{0-H1} \cos \alpha_{BA}}$$

(a)

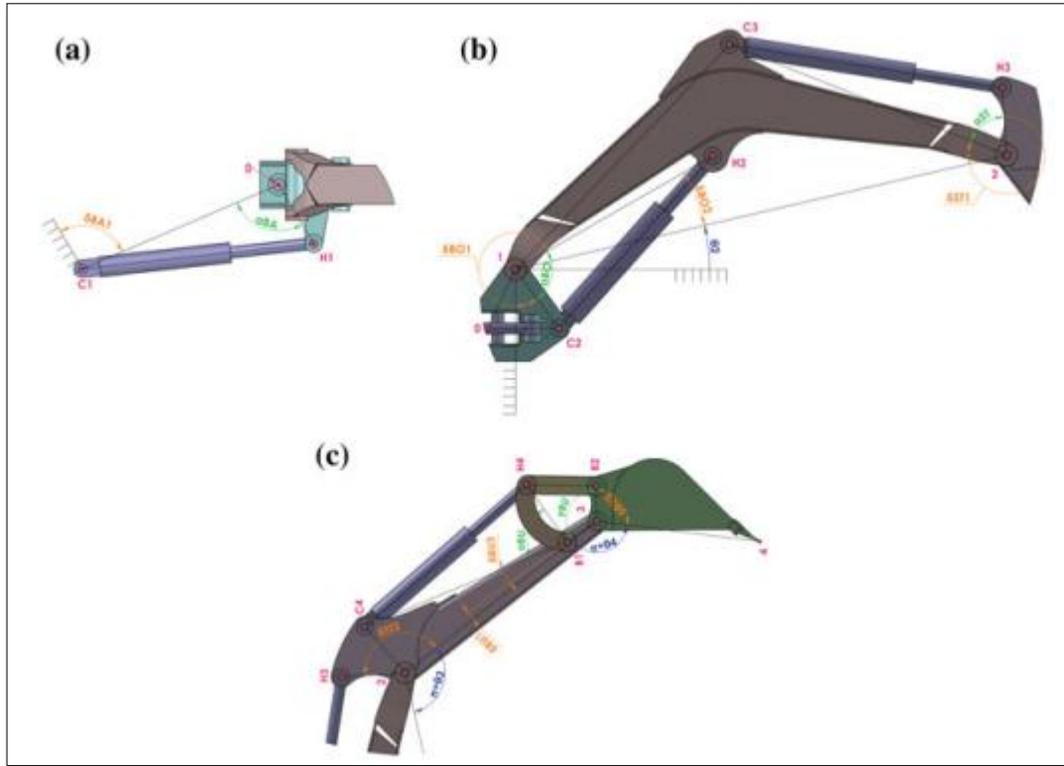


Figure 13 Cinématique inverse des vérins hydrauliques

cinématique inverse du vérin 1 ; (b) cinématique inverse des vérins 2 et 3 ; (c) cinématique inverse du vérin 4

De la Figure. 3.2 (b) et (c) on obtient respectivement pour les vérins 2 et 3 :

$$\alpha_{BO} = \frac{\pi}{2} + \theta_2 - (\delta_{BO1} - \delta_{BO2}) \dots \dots \dots (3.7)$$

$$l_{C2-H2} = \sqrt{l_{1-H2}^2 + l_{1-C2}^2 - 2l_{1-H2}l_{1-C2} \cos \alpha_{BO}} \dots \dots \dots (3.8)$$

$$\alpha_{ST} = \pi - \theta_3 - (\delta_{ST1} + \delta_{ST2}) \dots \dots \dots (3.9)$$

$$l_{C3-H3} = \sqrt{l_{2-C3}^2 + l_{2-H3}^2 - 2l_{2-C3}l_{2-H3} \cos \alpha_{ST}} \dots \dots \dots (3.10)$$

Pour le verin 4 de la Figure. 3.2 (c) nous avons la relation suivante :

$$\gamma_{BU} = \pi - \theta_4 - (\delta_{BU1} + \delta_{BU2}) \dots \dots \dots (3.11)$$

$$l_{B1-B2} = \sqrt{l_{3-B2}^2 + l_{3-B1}^2 - 2l_{3-B2}l_{3-B1} \cos \gamma_{BU}} \dots \dots \dots (3.12)$$

$$\alpha_{BU} = \arccos\left(\frac{l_{B2-H4}^2 - l_{B1-B2}^2 - l_{B1-H4}^2}{2l_{B1-B2}l_{B1-H4}}\right) - \arcsin\left(\frac{l_{3-B2}\sin\gamma_{BU}}{l_{B1-B2}}\right) - \delta_{BU3}$$

$$l_{C4-H4} = \sqrt{l_{C4-C1}^2 + l_{B1-H4}^2 - 2l_{C4-B1}l_{B1-H4}\cos\alpha_{BU}} \dots \dots \dots (3.13)$$

L'analyse de la cinématique du quatrième vérin est plus complexe du fait de la présence du mécanisme à six barres, formé par le vérin 4 avec la tringlerie à deux barres, le manche et le godet. Avec les longueurs des cylindres en fonction des coordonnées généralisées, il est possible de déterminer les forces hydrauliques.

3.5 Modélisation du système hydraulique

La modélisation présentée ici est basée sur l'étude du système d'asservissement hydraulique représenté sur la Figure.3.3 . Ce système est constitué d'un vérin différentiel à double effet commandé par un distributeur proportionnel 4/3 voies. Pour la modélisation du sous-système hydraulique, les hypothèses simplificatrices suivantes sont adoptées

L'unité d'alimentation fournit une pression et un débit constants au système ;

La dynamique de la vanne est suffisamment rapide pour que le rapport entre la tension appliquée à la vanne et le déplacement du tiroir soit donné par une constante ;

La fuite interne de la vanne n'est pas significative ;

La zone morte de la vanne est considérée comme négligeable ;

Le régime d'écoulement à travers les orifices des vannes est supposé turbulent ;

La dynamique des tabulations est insignifiante et peut donc être modélisée comme des volumes inefficaces ;

La fuite entre les bouteilles et l'environnement n'est pas prise en compte ;

La fuite entre les chambres des cylindres n'est pas prise en compte ;

Le module de compressibilité du fluide est admis comme constant, même s'il dépend de la pression effective, de la température et de la quantité d'air mélangé au fluide [11].

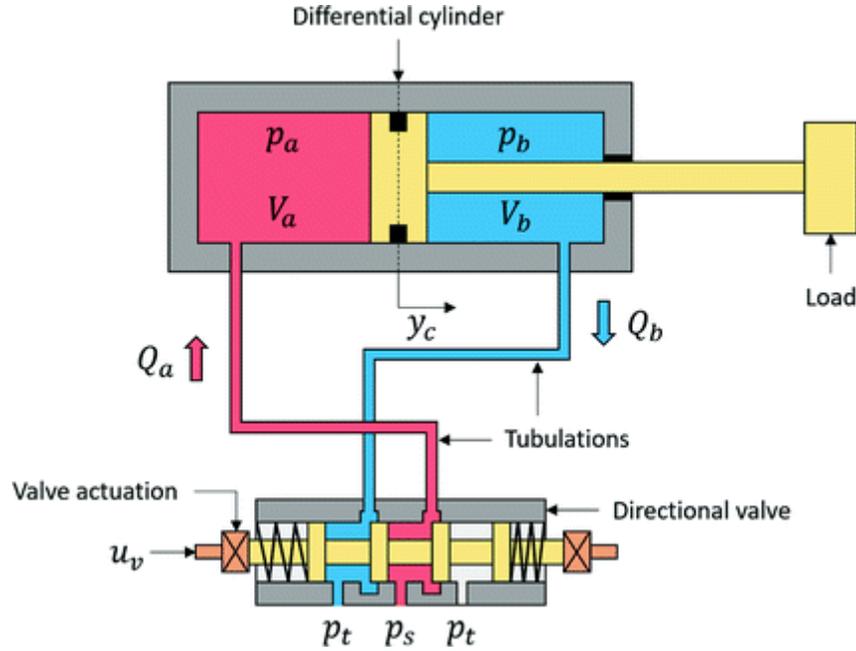


Figure 14 Modélisation du manipulateur d'une pelle hydraulique

Équation de flux de charge: Dans la Fig. 2, les débits Q_a et Q_b à travers les orifices des vannes a et b respectivement, sont donnés par l'équation du débit à travers les orifices [13], comme indiqué dans la séquence :

$$Q_a = u_v K_a g_a(p_a, u_v), \text{ with } g_a(p_a, u_v) = \begin{cases} \sqrt{p_s - p_a} & \text{if } u_v \geq 0 \\ \sqrt{p_a - p_t} & \text{if } u_v < 0 \end{cases}$$

$$Q_b = -u_v K_b g_b(p_b, u_v), \text{ with } g_b(p_b, u_v) = \begin{cases} \sqrt{p_b - p_t} & \text{if } u_v \geq 0 \\ \sqrt{p_s - p_b} & \text{if } u_v < 0 \end{cases}$$

Où u_v est la tension appliquée à la vanne, K_a et K_b sont les coefficients de débit des orifices a et b respectivement, p_a et p_b sont les pressions effectives dans les chambres a et b , p_s et p_t représentant les pressions effectives d'alimentation et de réservoir.

En régime permanent, on suppose que $Q_a = -\alpha_c^{-1} Q_b$ tel que $\alpha_c = A_b/A_a$ est le rapport de surface de la section transversale de l'actionneur entre les chambres a et b . Par conséquent, avec les Éqs. (23), (24) et les définitions de débit de charge, $Q_l \triangleq Q_a = -\alpha_c^{-1} Q_b$, et la pression de charge, $p_l \triangleq p_a - \alpha_c p_b$, pour un vérin asymétrique [11], et après quelques manipulations algébriques, on obtient :

$$Q_l = u_v K_l g_l(p_l, u_v), \text{ with } g_l(p_l, u_v) = \begin{cases} \sqrt{p_s - p_l - \alpha_c p_t} & \text{if } u_v \geq 0 \\ \sqrt{\alpha_c p_s + p_l - p_t} & \text{if } u_v < 0 \end{cases} \dots\dots\dots(3.14)$$

Où $K_l = (\sigma_v K_a) / \sqrt{\sigma_v^2 + \alpha_c^3}$ est le coefficient de débit de charge, avec $\sigma_v = K_b / K_a$ le rapport des coefficients de débit de la vanne.

Dynamique de la pression de charge. L'application de l'équation de continuité dans les chambres du vérin donne [11] :

$$\dot{p}_a = \frac{\beta_e}{V_a} (Q_a - A_a \dot{y}_c) \dots\dots\dots(3.15)$$

$$\dot{p}_b = \frac{\beta_e}{V_b} (Q_b + A_b \dot{y}_c) \dots\dots\dots(3.16)$$

Où β_e est le module de masse efficace du fluide, $V_a = A_a(\tilde{l}_a + y_c) + V_{tub}$ est le volume de la chambre a, $V_b = A_b(\tilde{l}_b - y_c) + V_{tub}$ est le volume de la chambre b, $\tilde{l}_{a,b} = l_{a,b}(t_0)$ est les longueurs initiales des chambres a et b, V_{tub} est le volume de liquide dans les tableaux.

Substitution les équations (26) et (27) dans la dérivée première de la pression de charge, qui est donnée par $\dot{p}_l = \dot{p}_a - \alpha_c \dot{p}_b$ et après quelques manipulations algébriques, on obtient :

$$\dot{p}_l = \frac{\beta_e}{V_a} \left(\frac{r_v + \alpha_c^2}{r_v} \right) (Q_l - A_a \dot{y}_c) \dots\dots\dots(3.17)$$

Où $r_v = V_b / V_a$ est le rapport volumique des chambres.

Forme matricielle de la dynamique des sous-systèmes hydrauliques.

Selon Santos et al [9], et considérant N actionneurs, la dynamique du sous-système hydraulique peut s'écrire comme suit :

$$\dot{\mathbf{p}}_l = \mathbf{E}_l(\mathbf{q}, \mathbf{p}_l, \mathbf{u}_v) \mathbf{u}_v - \mathbf{F}_l(\mathbf{q}) \mathbf{J}^T(\mathbf{q}) \dot{\mathbf{q}} \dots\dots\dots(3.18)$$

Où $\mathbf{p}_l \in \mathfrak{R}^n$ est le vecteur de pression de charge, et les termes $\mathbf{E}_l \in \mathfrak{R}^{n \times n}$ et $\mathbf{F}_l \in \mathfrak{R}^{n \times n}$ sont des matrices diagonales de fonctions non linéaires, qui sont données, respectivement, par :

$$\mathbf{E}_l(\mathbf{q}, \mathbf{p}_l, \mathbf{u}_v) = \text{diag} \left[\frac{\beta_e}{A_{ai}(\tilde{l}_{ai} + y_{ci}) + V_{tubi}} \left(\frac{r_{vi} + \alpha_{ci}^2}{r_{vi}} \right) K_{li} g_{li}(p_{li}, u_{vi}) \right] \dots \dots \dots (3.19)$$

$$\mathbf{F}_l(\mathbf{q}) = \text{diag} \left[\frac{\beta_e}{A_{ai}(\tilde{l}_{ai} + y_{ci}) + V_{tubi}} \left(\frac{r_{vi} + \alpha_{ci}^2}{r_{vi}} \right) A_{ai} \right] \dots \dots \dots (3.20)$$

Avec $K_{li} = (\sigma_{vi} K_{ai}) / \sqrt{\sigma_{vi}^2 + \alpha_{ci}^3}$. Dans les équations (3.19) et (3.20) le déplacement linéaire y_{ci} est donné par : $y_{ci} = l_{ciHi} - \tilde{l}_{ciHi}$ où $\tilde{l}_{ciHi} = l_{ciHi}(t_0)$ est la longueur initiale du verin i . En substitution ces relations dans l'équation (3.19), on obtient :

$$\dot{\mathbf{F}}_h = \mathbf{A}_a \mathbf{E}_l(\mathbf{q}, \mathbf{F}_h, \mathbf{u}_v) \mathbf{u}_v - \mathbf{A}_a \mathbf{F}_l(\mathbf{q}) \mathbf{J}^T(\mathbf{q}) \dot{\mathbf{q}} \dots \dots \dots (3.21)$$

L'équation (3.21) exprime la dynamique du sous-système hydraulique en fonction de la force hydraulique.

3.6 Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons développé le modèle dynamique qui gouverne le fonctionnement de la pelle hydraulique. Pour cela, nous avons utilisé les équations de mouvement ainsi que les lois physiques des circuits hydraulique.

Dans le prochain chapitre, on va présenter les différentes phases de conception de l'émulateur de la pelle hydraulique.

Chapitre 04

Construsion Mécanique

4 Introduction

Après avoir dimensionné tous les éléments du notre mécanisme, dans ce chapitre on va présenter les résultats de la conception finale effectuée sur le logiciel SolidWorks : les différentes pièces et l'assemblage final, prise en charge avec les mises en plans : les dessins de chaque pièce ainsi que le dessin de définition comme annexe.

4.1 Introduction au logiciel SOLIDWORKS :

SolidWorks est un logiciel de CAO, appartenant à la société Dassault Systèmes, fonctionnant sous Windows.

- Le logiciel SolidWorks permet de :
- Concevoir des objets en 3D de manière très précise.
- Développer des produits
- Vérifier la conception des fichiers créés
- Détenir une bibliothèque des fichiers 3D
- Mettre en place des mises en plan 2D
- Créer des images et animations des objets 3D
- Estimer le coût de la fabrication des objets 3D

4.2 Fonctionnement

Le logiciel est un modeleur 3D utilisant la conception paramétrique, basé sur des fonctions dont les deux principales catégories sont : les fonctions esquissées et les fonctions appliquées.

- Fonctions esquissées : Fonction basée sur une esquisse 2D. Elle est généralement transformée en volume par extrusion, révolution, balayage, coulissage.
- Fonctions appliquées : Fonction créée directement sur le modèle volumique. Les congés et les chanfreins sont des exemples de ce type de fonction.

4.3 Concepts de base

Le logiciel génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation, c.-à-d. que toute modification à n'importe quel niveau, se répercute vers tous les fichiers concernés

4.4 Pièce

Une pièce est la réunion d'un ensemble de fonctions volumiques avec des relations géométriques et autres (ajout retrait) ... Cette organisation est appelée sur l'arbre de construction.

Parmi les fonctions génératrices, on trouve :

- Extrusion. Déplacement d'une section droite dans une direction perpendiculaire à la section. La section est définie dans une esquisse.
- Révolution. Déplacement d'une section droite autour d'un axe.
- Balayage. Déplacement d'une section droite le long d'une trajectoire.

D'autres fonctions, plutôt orientées métier intègrent des notions : Congés et chanfreins, nervures, dépouilles, coque, trous normalisés (perçages, mortaises...), Plis de tôle...

Des fonctions d'ordre logiciel comme la répétition linéaire, circulaire, curviligne ou par symétrie...

Les possibilités d'éditations sont complétées par un ensemble d'outils de mesures géométriques par lesquels il est possible de connaître le volume de la pièce, son poids, la position de centre de masse, sa matrice d'inertie, la surface...

4.5 Assemblage

Les assemblages sont obtenus par le rapprochement de pièces. La mise en position de pièces est définie par un ensemble de contraintes d'assemblage associant, deux entités respectives par une relation géométrique (coïncidence, tangence, coaxialité...). Le mécanisme monté possédant des mobilités, peut être manipulé virtuellement. On peut alors aisément procéder à des réglages à l'aide des différents outils disponibles

(déplacement composants, détection de collision ou d'interférence, mesure des jeux, etc.)

4.6 Mise en plan

les mises en plan concernent à la fois les pièces (dessin de définition) ou les assemblages (dessin d'ensemble). Son principe est créer une projection de l'objet. Pour aboutir à un plan fini d'une pièce on peut estimer mettre 2 fois moins de temps qu'avec un outil DAO (temps de conception et exécution du dessin).

Produits associés et extensions des fichiers

Un certain nombre de modules complémentaires qui s'interfacent avec SolidWorks :

- SolidWorks Simulation.
- SolidWorks Flow Simulation.
- SolidWorks Motion.
- SolidWorks Routing.
- SolidWorks Toolbox.

4.7 Résultat de la conception finale :

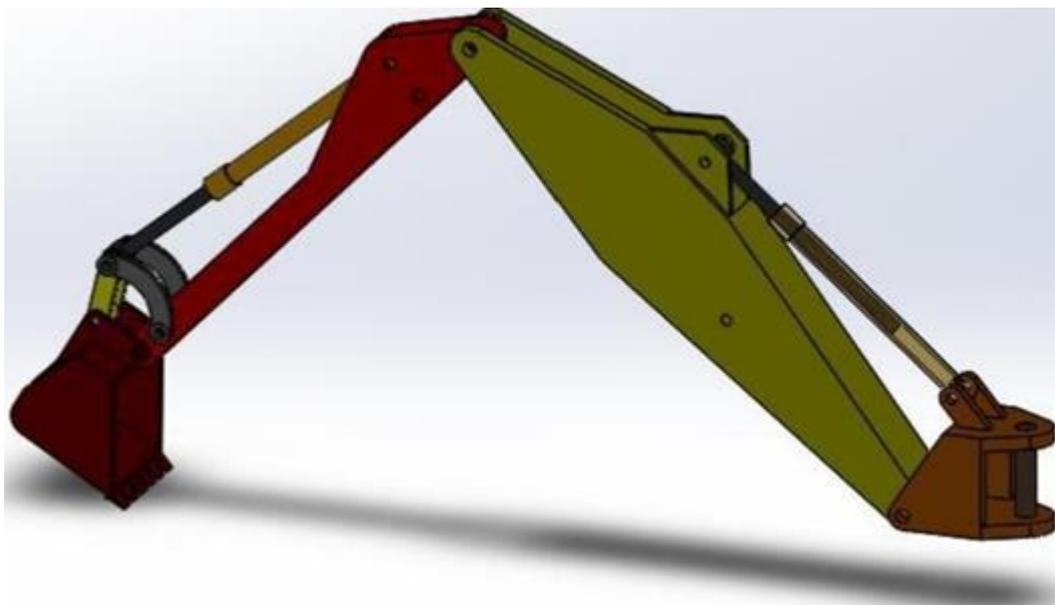


Figure 15 Conception finale d'une pelle hydraulique

Avant l'assemblage, on a commencé avec la conception des pièces unitaires :

La pelle se compose de trois parties principales qui sont interconnectées les unes avec les autres

La première partie principale

4.8 Profil fixe de la pelle :



Figure 16la base de la pelle

4.9 La deuxième partie principale

Et le premier Flèche mobile qui détermine la longueur de la pelle d'allongement requise

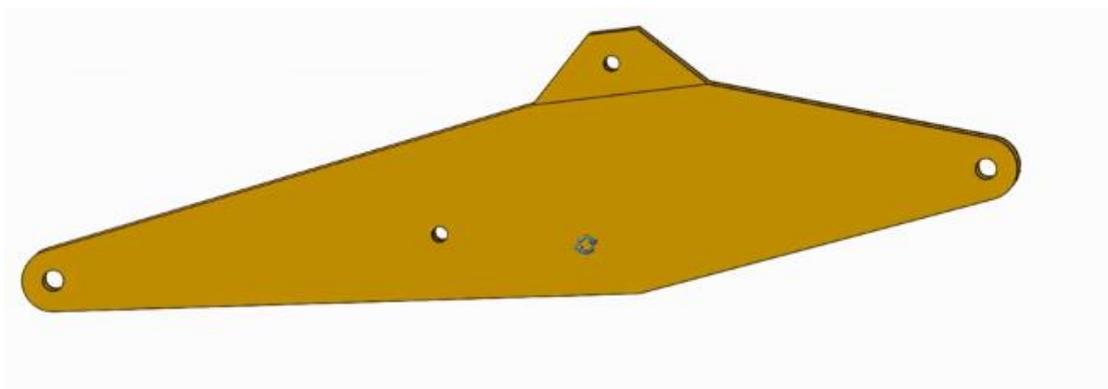


Figure 17la Flèche principale

4.10 La troisième partie principale

C'est la deuxième Flèche mobile qui détermine la longueur de la pelle d'allongement requise :

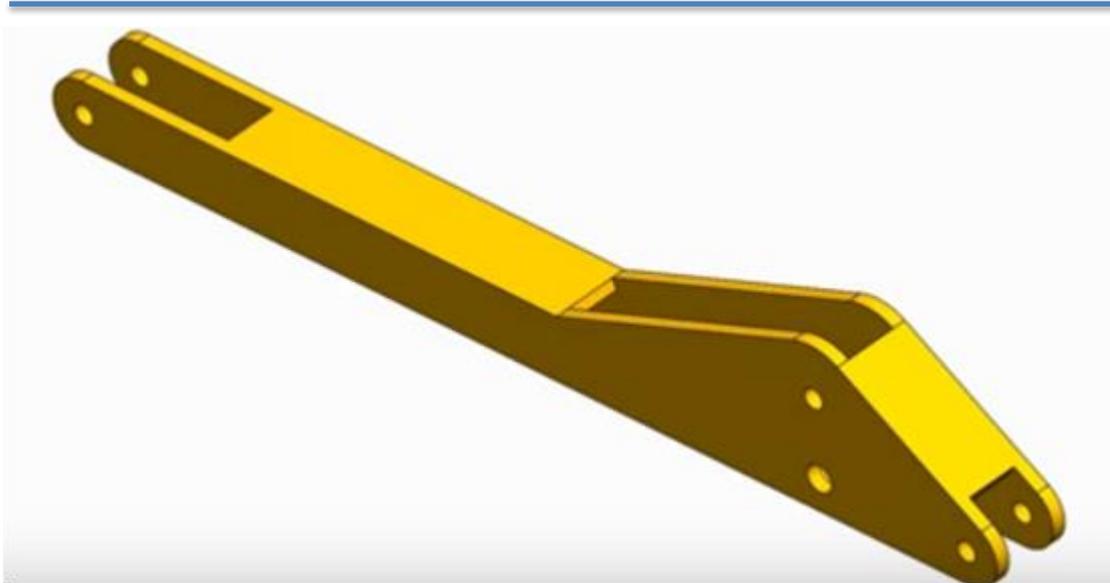


Figure 18la Flèche secondaire

Le godet de pelle est principalement responsable du creusement

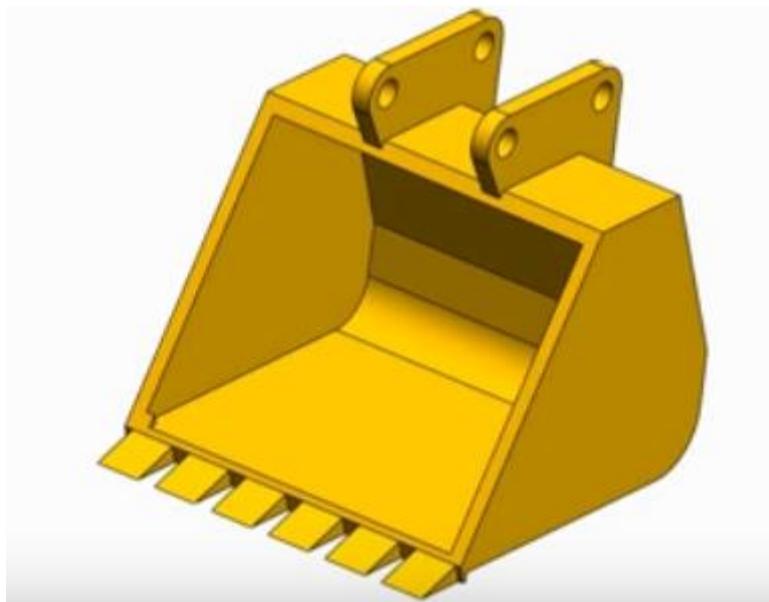


Figure 19 Godet d'excavatrice

Le vérin hydraulique est la partie qui assurer le mouvement du levage et de descendre de la pelle

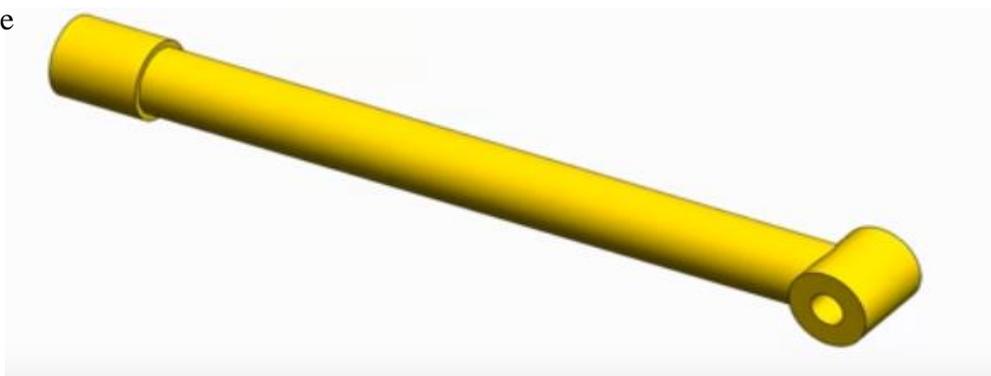




Figure 20 Vérin. Le support de godet de pelle permet à la pelle de se déplacer facilement

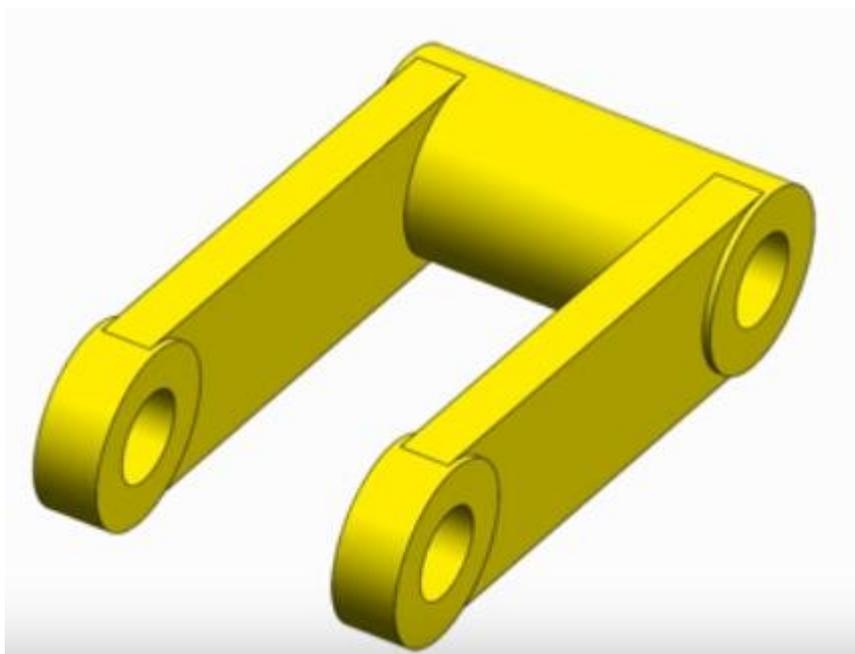


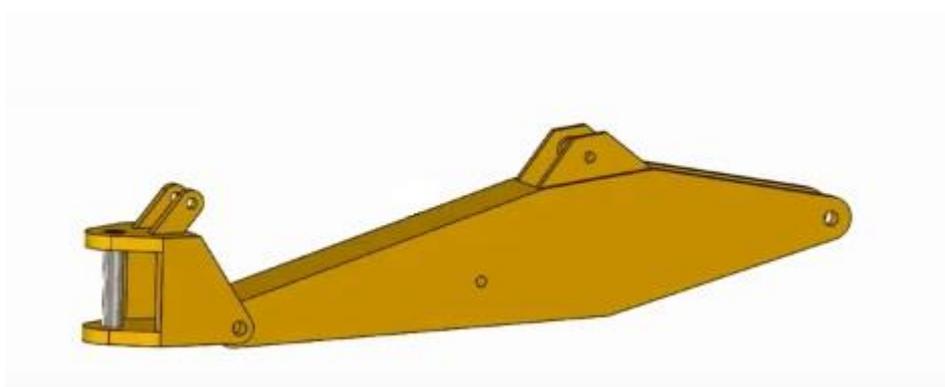
Figure 21 Support de Godet d'excavatrice

La pelle rétrocaveuse à godet lui permet de creuser facilement et lui donne un grand pourcentage de rotation

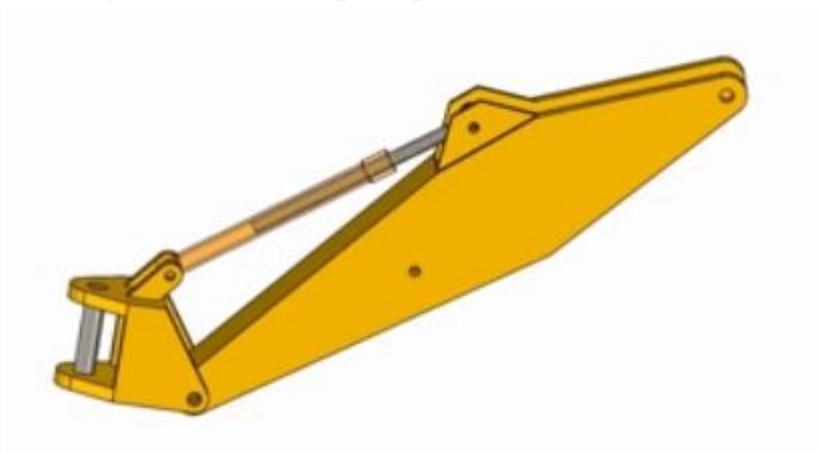


Figure 22 Support arrière de Godet d'excavatrice

Dans les prochaines étapes, nous collecterons les pièces une par une dans la première étape en a crocher la base avec la Flèche principale

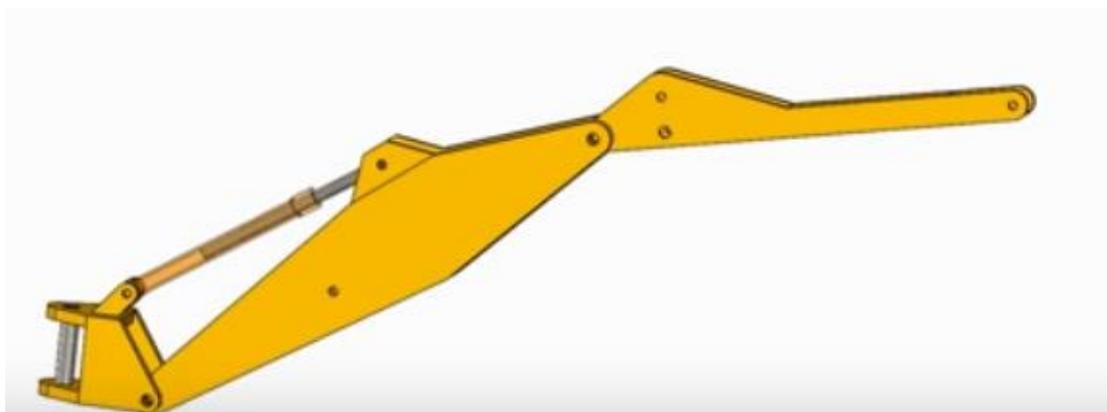


Ici, nous ajoutons l'élément principal du mouvement le Vérin

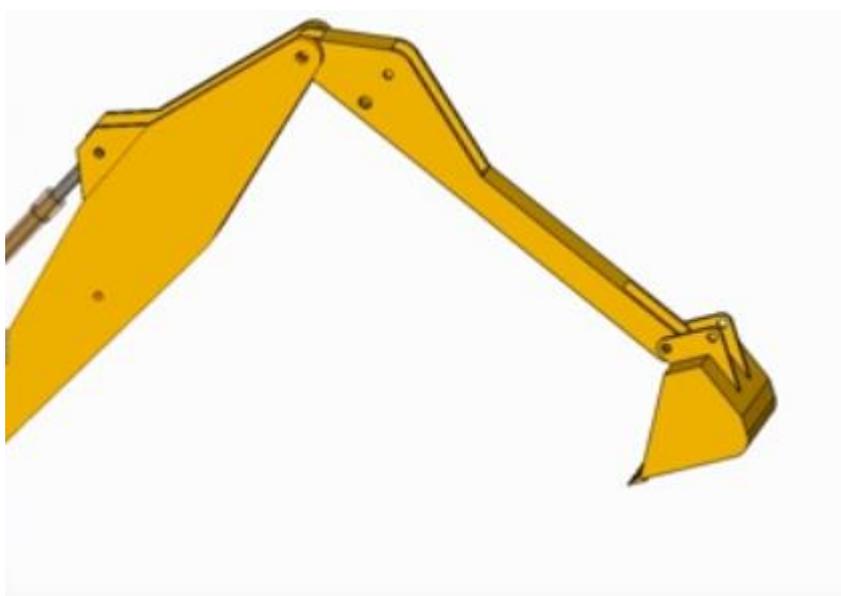


Chapitre 04 Construsion Mécanique

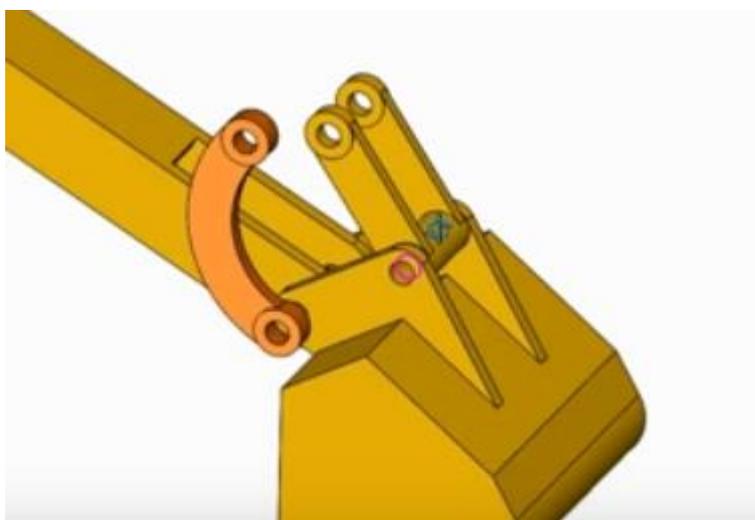
Dans ce cas, nous ajoutons la Flèche secondaire au premier chapitre

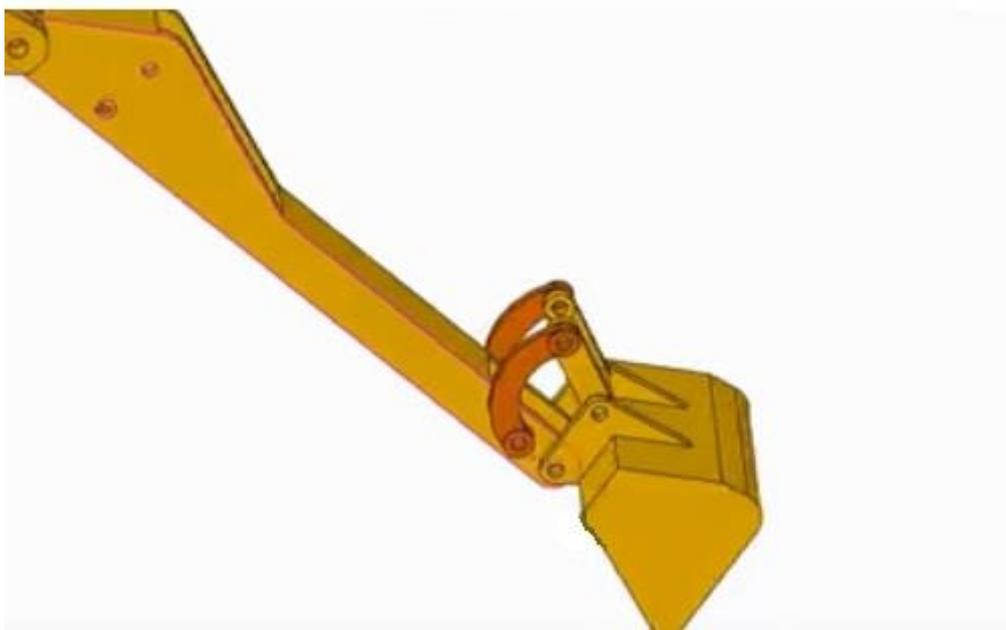


en a crocher le Godet d'excavatrice avec la Flèche secondaire



Alor dans cette étape ajoute les Support arrière et avant





a la fin en placer le vérin avec les support



voila la résultat de la conception finale



4.11 Réalisation

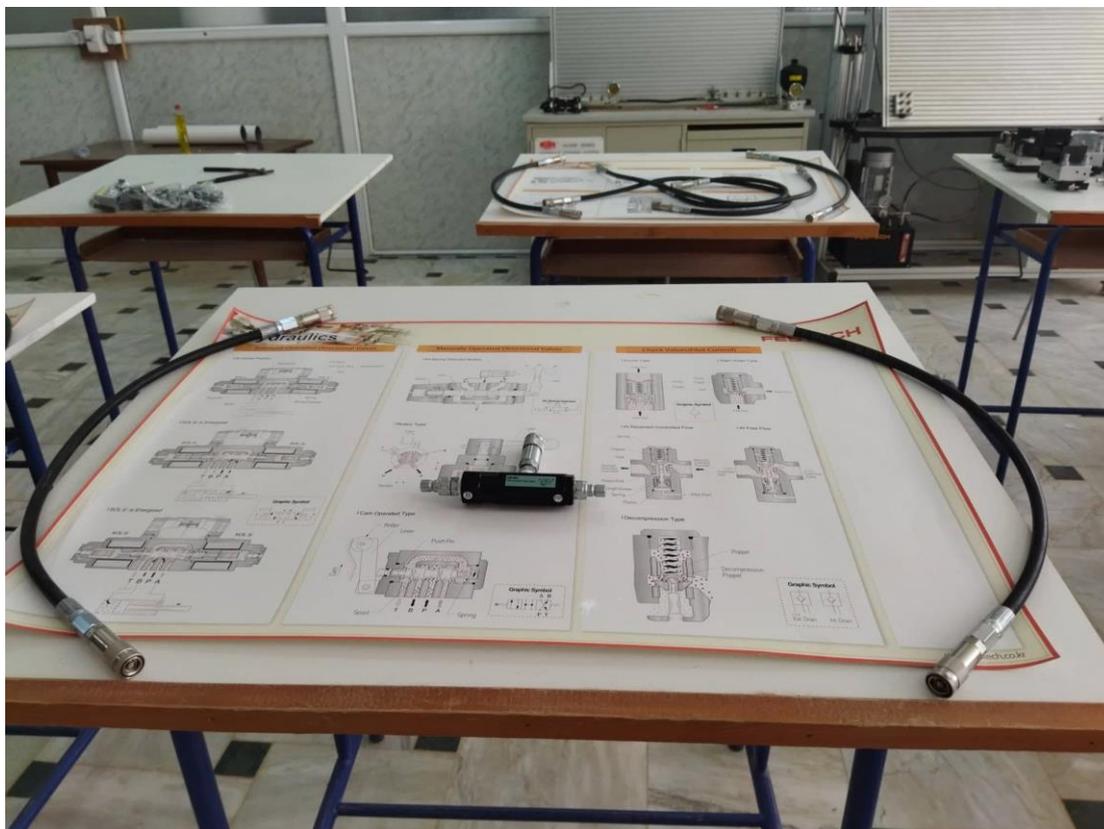
Dans la phase de réalisation, on a fait une réunion de travail avec nos encadreur au laboratoire d'hydraulique et pneumatique de l'université de Ghardaia afin d'étudier l'aspect réalisation de de ce projet et d'identifier nos besoins. Pour cela, nous avons suivi les étapes suivantes :

Dans la première étape nous avons explorer les bancs d'essais d'hydraulique disponibles au laboratoire et nous avons identifié les différentes pièces ainsi que son rôle. Dans les figures suivantes nous illustrons le matériels du banc d'essai.



Figure 23 banc d'essai d'hydraulique à l'université de Ghardaia

Par la suite, nous avons consulté les catalogues pour mieux comprendre la mise en service du banc d'essai.



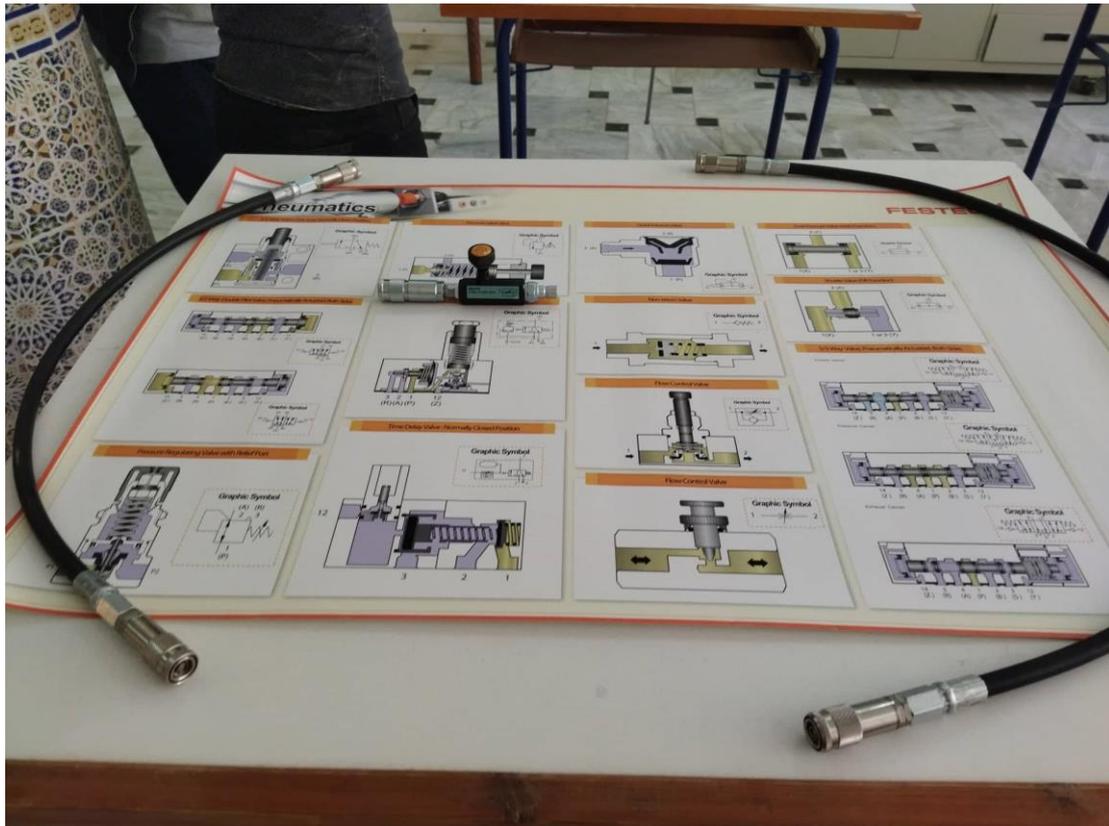


Figure 24 des catalogue

Dans la troisième étape nous avons essayé de faire fonctionner les vérins avec les différents types de distributeurs (mécanique, électrique ... etc), ainsi que, le moteur hydraulique et son fonctionnement afin de l'utiliser pour assurer le mouvement de rotation de la pelle hydraulique.



Figure 25 table d'expérimentation

Dans la quatrième étape, nous avons entamer la réalisation de notre conception de pelle hydraulique. Nous avons utilisé le bois pour le prototypage comme illustré dans les figures ci-dessus:



Figure 26 la base de vérin





Figure 27 conception modulaire en bois

Et dans la phase finale, nous avons utilisé le fer afin d'avoir un émulateur solide



Figure 28 les supports en fer



Figure 29 la flèche principal

Dans la figure suivante, nous illustrons le support de la flèche secondaire

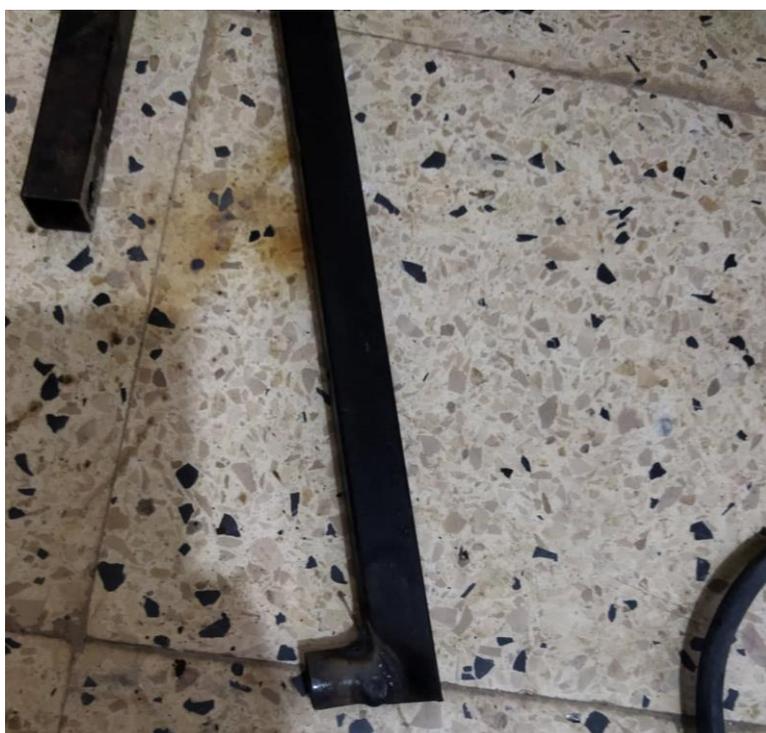
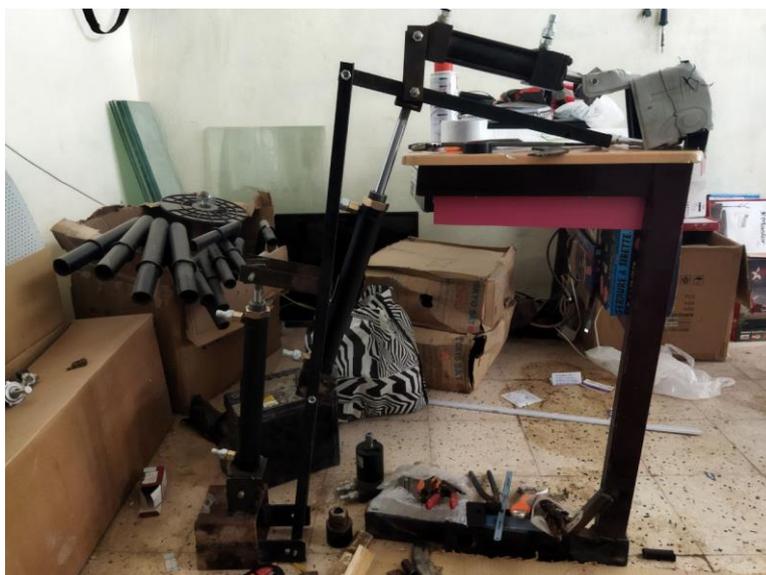


Figure 30 la flèche secondaire



Figure 31a flèche secondaire





4.12 Conclusion:

Durant ce projet de fin d'étude, nous avons pu atteindre l'objectif souhaité grâce à tous les efforts que nous avons fournis, et nous avons également pu maîtriser toutes les étapes nécessaires de conception dans SOLIWORKS, d'une seule pièce à valeur ajoutée pour pouvoir traiter ce logiciel qui joue un rôle très important dans l'industrie.

4.13 Conclusion Général

La pelle hydraulique est un équipement très utile et largement utilisé dans les secteurs industriels. Ce qui nous a poussé pour le prendre comme thème pour notre mémoire de fin d'études.

Dans ce mémoire on a entamé notre recherche par la recherche bibliographie concernant la pelle hydraulique qui a été très difficile à cause de manque des ressources similaires. Ensuite, nous avons établi une analyse fonctionnelle concernant la conception et la réalisation de cet engin afin de choisir la meilleure solution. Pour terminer on a choisi le concept optimal et nous l'avons conçu pratiquement.

Pour la pelle hydraulique, nous avons fait une conception 3D à l'aide de logiciel SolidWorks, graphiques et dessins d'assemblage. Puis nous avons passés à la réalisation matérielle. Au cours de cette étape, nous avons rencontré quelques défis, notamment le poids du prototype et les l'angles d'inclinaison des flèches ... etc. Malgré ca, on a eu des très bon résultats au finale.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]- He, Q. H., Zhang, D. Q., Hao, P., & Zhang, H. T. (2006). Modeling and control of hydraulic excavator's arm. *Journal of Central South University of Technology*, 13(4), 422-427.
- [2]- Schulz, A., Shamir, A., Levin, D. I., Sitthi-Amorn, P., & Matusik, W. (2014). Design and fabrication by example. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 33(4), 1-11.
- [3]- Bigot, A., Acoustic, S., LASSOUED, M., & de Géophysique, E. (2011). La diversité des sources vibratoires: les vibrations liées aux engins de chantier. *Acoustique & techniques (Neuilly-sur-Seine)*, (64), 21-26.
- [4]- BOUVAT, D. (2000). *Contribution à la localisation d'engins de chantiers routiers* (Doctoral dissertation, Nantes).
- [5]- Jufer, M., & Sabonnadiere, J. C. (2001). Computer-aided design (CAD). Asynchronous motor; Conception assistee par ordinateur (CAO). Moteur asynchrone. *Techniques de l'ingénieur. Génie électrique*, 6.
- [6]- Grotjahn, M., Daemi, M., & Heimann, B. (2001). Friction and rigid body identification of robot dynamics. *International journal of solids and structures*, 38(10-13), 1889-1902.
- [7]- SolidWorks, D. S. (2005). SolidWorks®. *Version Solidworks*.
- [8]- Kurowski, P. (2013). *Engineering Analysis with SolidWorks Simulation 2013*. SDC publications.
- [9]- Yu, Y., Do, T. C., Park, Y., & Ahn, K. K. (2021). Energy saving of hybrid hydraulic excavator with innovative powertrain. *Energy Conversion and Management*, 244, 114447.
- [10]- Bedotti, A., Campanini, F., Pastori, M., Riccò, L., & Casoli, P. (2017). Energy saving solutions for a hydraulic excavator. *Energy Procedia*, 126, 1099-1106.
- [11]- Haga, M., Hiroshi, W., & Fujishima, K. (2001). Digging control system for hydraulic excavator. *Mechatronics*, 11(6), 665-676.

[12]- Oliveira, É. L. D., & Donha, D. C. (2017, March). Modelling of the Manipulator of a Mini Hydraulic Excavator. In *International Symposium on Dynamic Problems of Mechanics* (pp. 305-318). Springer, Cham.

[13]- Gerritsen, M. G., & Durlofsky, L. J. (2005). Modeling fluid flow in oil reservoirs. *Annu. Rev. Fluid Mech.*, 37, 211-238.

[14]- Šalinić, S., Bošković, G., & Nikolić, M. (2014). Dynamic modelling of hydraulic excavator motion using Kane's equations. *Automation in Construction*, 44, 56-62.

[15]- Oliveira, É. L. D., & Donha, D. C. (2017, March). Modelling of the Manipulator of a Mini Hydraulic Excavator. In *International Symposium on Dynamic Problems of Mechanics* (pp. 305-318). Springer, Cham.

[16]- Bu, F., & Yao, B. (2000, June). Nonlinear adaptive robust control of hydraulic actuators regulated by proportional directional control valves with deadband and nonlinear flow gains. In *Proceedings of the 2000 American Control Conference. ACC (IEEE Cat. No. 00CH36334)* (Vol. 6, pp. 4129-4133). IEEE.

les figure :

chapitre1

https://www.pdfprof.com/PDF_Image.php?id=2332&t=38&fbclid=IwAR0uWDAAzbZ_kZiq90YLNawRWFo2RSt_5kITG-1cVJzsBTDIOaKuvVTG8iA

chapitre 2

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwivndS8k7D4AhV5if0HHZzIATkQFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Fmy.solidworks.com%2Fsolidworks%2Fguide%2FSOLIDWORKS_Introduction_FR.pdf&usg=AOvVaw1kLCwn9REpqy1FrZtnzsMrpdf