

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : Des sciences

DEPARTEMENT : Physique

N° : .....



DOMAINE : Sciences de la Matière

FILIERE : Physique

OPTION : Énergie Solaire

Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique

Par: ACHOURI Mariem

Intitulé

**Modélisation des Phénomènes Physique de la  
Machine Hydraulique d'ALJAZARI**

Soutenu le 25 / 05 /2017 devant le jury composé de:

HADDAD Zakaria	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Présidente
SALMI Mohamed	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Rapporteur
BENMANSOUR Nadia	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Examineur
BOULECHFAR Hichem	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Examineur

Année universitaire : 2016/2017

## REMERCIEMENTS

Mes remerciements s'adressent tout d'abord à Monsieur Mohamed SALMI, maître de conférences à l'Université de M'sila, qui a dirigé mon travail avec beaucoup de patience et amitié malgré ses nombreuses occupations. Je le remercie également de son aide et ses conseils durant ces années.

Je remercie vivement Mr. HADDAD Zakaria, Dr. Nadia BENMANSOUR et Dr. Hichem BOULECHFAR, d'avoir accepté de participer à mon jury de mémoire de cette mémoire.

Je tiens à remercier également à Monsieur le chef de département de physique Abdelmadjid BOUSSANDAL.

Je profite de ces remerciements pour exprimer mon affection pour mes parents, mes frères et toute la famille.

## DÉDICACES

À mes cher mon frère Med –Amin,

à mes parent,

à mes frères,

à hafida, malika, asma,

à ceux qui me sont proches.

## **Table des matières**

# Table des matières

<b>Introduction</b>	1
<b>Chapitre 1 : L'Hydraulique dans les Civilisations Anciennes</b>	2
<b>1.1 Hydraulique</b>	3
1.1.1 Définition	3
1.1.2 L'hydraulique : une science	3
1.1.3 Le réseau hydraulique	5
<b>1.2 Histoire des machines hydraulique</b>	5
<b>1.3 Histoire de gouvernance de l'eau</b>	7
1.3.1 L'Hydraulique dans la civilisation greco-romaine	7
1.3.2 L'Hydraulique en Afrique du nord	8
1.3.3 L'Hydraulique dans la civilisation islamique	9
<b>1.4 Les science et technique islamique</b>	10
<b>Chapitre 2 : Les ouvrages d'Al-Jazari</b>	12
<b>2.1 La vie d'al-jazari</b>	13
2.1.1 Ses œuvres	14
<b>2.2 Réalisations d'Al-Jazari</b>	15
2.2.1 Coupe qu'on présente au cours des repas	15
2.2.2 Une jarre	16
2.2.3 Une cruche placée sur une chaise que le serviteur met à la du roi	17
2.2.4 Un Paon qui crache de son bec la quantité d'eau nécessaire	18
<b>2.3 Les machines utiles - Al-Jazari</b>	19
2.3.1 La cuvette du moine	20
2.3.2 La cuvette des écrivains	21
2.3.3 La cuvette du trésorier	21
2.3.4 la cuvette de château	21
<b>2.4 Les serrures d'Al-Jazari</b>	22
2.4.1 Description de la serrure	22
2.4.2 La seconde serrure décrite par Al-Jazari	24
<b>2.5 Développement des techniques de la mécanique horlogère- monde arabe</b>	25
2.5.1 Un horloge hydraulique qui indique les heures solaires	26
2.5.2 Réservoir régulateur	28
2.5.3 Le tuyau régulateur	28
2.5.4 Le plateau des signes de zodiaque	29
2.5.5 Montage de cet ensemble	29
<b>2.6 Description des éléments qui indiquent le temps écoulé</b>	29
2.6.1 Les portes	29
2.6.2 Les fenêtres	30
2.6.3 Les canaux	30
2.6.4 Les faucons	31

2.6.5 Le chariot	31
2.6.6 L'heure est aussi indiquée par des cercles qui s'illuminent	32
<b>Chapitre 3 : Modélisation et lois physique de la Machine Hydraulique d'Aljazari</b>	<b>34</b>
<b>3.1 Les machines élévatrices d'eau</b>	<b>35</b>
3.1.1 Premier modèle	35
3.1.2 Deuxième modèle	36
3.1.3 Troisième modèle	36
3.1.4 Quatrième modèle	37
3.1.5 Cinquième modèle	38
<b>3.2 logiciel solidworks</b>	<b>41</b>
3.2.1 Définition	41
3.2.2 Fonctionnement	41
<b>3.3 Réalisation de pièces à l'aide d'un modeleur 3D</b>	<b>42</b>
3.3.1 Réglage des barres d'outils	42
3.3.2 Utilisation des outils d'affichage	43
3.3.3 Réalisation d'assemblages à l'aide d'un modeleur 3D	45
<b>3.4 Étude physique de la pompe hydraulique D'Aljazari</b>	<b>45</b>
3.4.1 Description de la pompe hydraulique	45
3.4.2 Conception des machines	46
3.4.3 Mécanisme de la pompe hydraulique	46
<b>3.5 phénomènes et lois physique de la pompe hydraulique</b>	<b>47</b>
3.5.1 Engrenages	47
3.5.2 Rapport d'une transmission de mouvement de rotation	47
3.5.3 Transmissions de mouvement par courroies	49
<b>Conclusion</b>	<b>50</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>51</b>

# Introduction

## Introduction

L'énergie hydraulique est le résultat du mouvement de masses d'eau coulant le long des pentes naturelles. Pour pouvoir transformer cette énergie en travail utile, il est nécessaire de la concentrer en tirant parti de chutes naturelles ou par l'aménagement d'un barrage de manière à obtenir une hauteur de chute et un débit suffisant pour installer une centrale.

Les bases de la gouvernance de l'eau ont été initialement pratiquées, durant des milliers d'années, par les anciennes civilisations mésopotamiennes, perses, égyptiennes, chinoises et aztèques. Cette gouvernance s'est matérialisée par la réalisation d'ouvrages hydrauliques divers, comme les canaux, les barrages et les foggaras. Des machines tels le chadouf, la noria et le moulin d'eau ont été inventées, permettant le relevage et la répartition des eaux fluviales aux surfaces irriguées, assurant la pérennité de la production céréalière. L'alimentation humaine a été ainsi assurée durant longtemps. Cependant, ces civilisations ont subi le sort de la disparition sans que l'on sache clairement les causes, d'autres les ont relayés bénéficiant de tout le capital expérimental et du savoir-faire acquis. C'est le cas de la civilisation gréco-romaine succédant la civilisation égyptienne, mais jouissant d'une religion nouvelle, d'un espace géographique sous des conditions climatiques relativement clémentes et favorables à la culture pluviale. L'irrigation des terres n'est plus prioritaire, les souverains doivent répondre de nouveaux besoins, ceux d'alimenter en eau une population croissante et qui s'urbanisent de plus en plus. L'hydraulique urbaine devient une priorité. C'est aussi le cas de la civilisation arabo-musulmane qui a émergé en plein désert arabe, sur les restes de la civilisation mésopotamienne.

Ce travail vise dans le cadre des efforts déployés pour mettre en évidence le rôle des scientifiques musulmans dans les progrès de la civilisation dans les aspects scientifiques. Peut-être, la plus grande innovation scientifique se trouve dans le domaine de la mécanique hydraulique qui a été conçue par les scientifiques musulmans AL-Jazari (1136-1206), qui est la base de la science dans la branche moderne de la mécanique, qui ont un de nombreuses applications dans le domaine de la science du mouvement dans l'industrie.

Notre travail est organisé comme suit:

Une étude historique sur l'eau et les machines hydrauliques définies dans le premier chapitre de ce mémoire.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des ouvrages d'Al-Jazari dans le cadre de développement des machines hydrauliques.

Nous nous sommes attachés dans le dernier chapitre la modélisation de la troisième machine hydraulique d'Al-Jazari et les phénomènes physiques qui y sont liés.

Enfin on termine par une conclusion où les synthèses des travaux effectués ainsi que les principaux résultats obtenus sont mentionnés.

## **Chapitre 1**

# **L'Hydraulique dans les Civilisations Anciennes**

## 1.1 Hydraulique

Le mot d'hydraulique vient du mot grec (hydraulikos) qui vient de qui signifie orgue à eau qui dérive à son tour de ὕδωρ (eau) et de (tuyaux).

Dans le monde méditerranéen, les premiers grands maîtres de cette science furent Héron d'Alexandrie et Ctésibios. Ainsi ce dernier perfectionna la clepsydre, inventa un monte-charge et un orgue hydraulique, l'Hydraule.

De manière générale, le fluide utilisé dans les systèmes hydrauliques (eau ou huile) est incompressible. Une pression est appliquée au fluide par l'intermédiaire d'un piston dans un cylindre, provoquant une pression équivalente sur un autre piston qui délivre l'énergie. Si la surface du second piston est supérieure à celle du premier, alors la force exercée par le second piston est supérieure à celle appliquée au premier piston. C'est le principe de la presse hydraulique, qui a été découvert en 1650 par Blaise Pascal et mis en application en 1785 par Joseph Bramah. Un des fondateurs de l'hydraulique moderne a été Benedetto Castelli, élève de Galileo Galilei [1].

**1.1.1 Définition :** anciennement, l'hydraulique désignait la science qui enseigne à mesurer, à diriger et à élever les eaux. Les machines hydrauliques désignaient principalement les pompes employées à cet effet. L'hydraulique était alors du ressort du fontainier et ses ouvriers spécialisés, les pompiers, spécialisés dans la fabrication et l'entretien des pompes, et les plombiers, spécialisés dans le façonnage du plomb[1].

Le mot hydraulique désigne de nos jours deux domaines différents:

- Les sciences et technologies de l'eau naturelle et ses usages : hydrologie, hydraulique urbaine, hydrogéologie.
- Les sciences et technologies de l'usage industriel des liquides sous pression : hydromécanique, oléohydraulique, moteur hydraulique et machine hydraulique.

### 1.1.2 L'hydraulique : une science

L'hydraulique est née dans le terreau de l'empirisme des canaux d'irrigation mésopotamiens, des aqueducs romains et des idées philosophiques grecques, évoluant d'une pensée métaphysique vers une science physique. L'empirisme laisse peu de place à la rationalité des théories générales.

Les Grecs ont contribué au développement des mathématiques. Cette transition s'est appuyée sur les travaux des philosophes René Descartes (1598-1650) et Blaise Pascal. Le cycle de l'eau dans la nature focalise les esprits et les idées mises en œuvre contribuent à son exploration et sa maîtrise. L'imitation de la nature inspire les inventions anthropiques et le puits incarne la source, le canal copie la rivière et le barrage reconstitue le lac naturel.

Depuis que l'hydraulique a bénéficié des progrès des mathématiques et de la mécanique, en plein essor, des théories plus les bores, relatives la dynamique des liquides, se sont développés, tel le concept de vis vivat ou quantité de mouvement décrit par Leibniz et Euler au XVIIe siècle, (Carlier, 1980). L'hydraulique est désormais une science part. Cette liste est trop exhaustive et ne peut rendre compte des nombreuses découvertes en hydraulique du IXX et XXe siècle. Cependant, la plupart des découvertes vont s'avérer fondamentalement utiles au développement de l'hydraulique applique l'irrigation. C'est le cas du calibre théorème de Daniel Bernoulli, inspiré des réflexions de Galilée et de Huygens, dont il est fait usage quasi constamment en hydrodynamique. Aussi l'écoulement par les déversoirs modalisés par Bazin (1829-1917), ou les lois sur la viscosité des liquides et le régime de l'écoulement, respectivement étudiées par George Gabriel Stokes (1819-1903) et l'Anglais Osborne Reynolds (1842-1912), ont trouvé de nombreuses applications en irrigation (Carlier, 1980). Joseph Louis Lagrange qui développe les résultats d'Euler ou Pierre Simon Laplace ont donné une impulsion théorisation de l'hydraulique. La transformation de l'énergie potentielle hydraulique en énergie cinétique par les moulins a donné naissance au XIXe siècle, l'invention de la turbine produisant l'électricité. Cette invention de Fourneyron, en 1836, a donné la turbine développant une puissance de 50 chevaux-vapeur, elle est devenue l'ancêtre des turbines Pelton et Francis (Bernadis, 1990), cabrés de nos jours. Cette découverte a permis de produire plus de 25% de l'électricité du monde et sans laquelle une centrale nucléaire ne peut fonctionner. Depuis, l'électricité a révolutionné l'ensemble des secteurs de l'activité humaine et de l'hydraulique.

La transformation de l'énergie potentielle hydraulique en énergie cinétique par les moulins a donné naissance au XIXe siècle, l'invention de la turbine produisant l'électricité. Cette invention de Fourneyron, en 1836, a donné la turbine développant une puissance de 50 chevaux-vapeur, elle est devenue l'ancêtre des turbines Pelton et Francis (Bernadis, 1990), célèbres de nos jours. Cette découverte a permis de produire plus de 25% de l'électricité du monde et sans laquelle une centrale nucléaire ne peut fonctionner. Depuis, l'électricité a révolutionne l'ensemble des secteurs de l'activité humaine et de l'hydraulique. Quelques années plus tard, l'hydrologie quantitative a émergé grâce aux équations du mouvement de l'eau dans le sous-sol et dans les canaux, élaborés par Darcy et Dupuit (1856) cité par Carlier (1980), ces théories vont être largement exploitées pour le développement de l'irrigation-drainage. Ainsi, aux méthodes par tâtonnement empiriques de jadis, succède partir des années 1930, un effort de rationalisation. Il permet l'hydraulique de bénéficier des avances théoriques des autres disciplines, et sa spécialisation au fil du temps et de l'eau. C'est l'avènement de la mécanique des fluides. L'irrigation, donnant naissance l'hydraulique, s'est consacré valeur et apporter l'eau aux cultures. Elle est devenue une science utilisant les théories de l'hydraulique générale,

mais aussi les connaissances de la physiologie végétale, de la climatologie, de l'agronomie et bien d'autres[2].

### 1.1.3 Le réseau hydraulique

Un réseau hydraulique est typiquement composé de :

- Réservoir .
- Filtres .
- Pompes .
- Limiteur de pression (aussi appelé détendeur).
- Ballon anti coup de bélier (plus communément appelé "boule d'azote" dans le milieu agricole ou accumulateur de pression).
- Régulateur de débit .
- Régulateur de pression.
- Distributeurs et appareils de régulation.
- Valves d'équilibrages.
- Clapet parachute (dans le domaine de l'ascensoriste).
- Limiteur de capacités.
- Flexibles et conduites (en France, les conduites en plomb des années 1950 sont peu à peu remplacées par des conduites en polyéthylène haute densité couramment appelé PEHD).
- Clapet unidirectionnel ou bypass .
- Récepteurs.

## 1.2 Histoire des machines hydraulique

L'eau est une force naturelle. Elle existait de toute éternité sans que l'homme ne sût comment s'en servir. Il faudra cependant encore des centaines de milliers d'années d'évolution pour que l'homme apprenne à transformer les énergies naturelles en travail.

Les premières machines hydrauliques remontent à l'antiquité. En effet avant de devenir un "élément moteur" pour fournir un travail, l'eau servait essentiellement à irriguer les champs et les jardins, à désaltérer bêtes et gens, à se laver.



**Figure 1.1:Machine hydraulique**

Pour puiser l'eau sans trop de fatigue, les hommes avaient mis au point des machines élévatrices. Ainsi en est-il du chadouf égyptien, un seau à bascule assez rudimentaire, mais pratique. La noria, grande roue élévatrice à godets, employée encore dans les pays arabes, date du premier siècle avant Jésus-Christ.

Les Grecs mirent au point les premières vraies machines qui, elles aussi, ne servaient qu'à puiser l'eau. Au troisième siècle avant Jésus-Christ, ils utilisaient déjà un système de vis, dont l'invention est attribuée au savant Archimède ; ils se servaient également de roues à aubes rudimentaires dotées d'un axe vertical.

Les moulins et les roues à aubes ont permis de tourner une page dans l'histoire de l'énergie hydraulique.

En effet, la roue à aubes, actionnée par l'eau d'une rivière et transmettant son mouvement à la meule d'un moulin, est le premier moteur de l'histoire (la présence de moulins était connue en Chine dès le cinquième siècle). La roue était alors en position horizontale dans le courant.

Les Romains adaptèrent un système de roues verticales avec axe horizontal ; il a été décrit par l'ingénieur romain Vitruve (premier siècle avant J.C).

A partir du 8ème siècle les roues à aubes se sont développées, permettant l'installation de moulins et au 17ème, tous les cours d'eau aménageables avaient été équipés de moulins.

Vers 1765, les ingénieurs français Charles Bossut et Charles de Borda avaient défini le dimensionnement des roues à aubes à partir des deux équations fondamentales de l'hydrodynamique, établies en 1738 et 1750 par les physiciens suisses Daniel Bernoulli (1700-1782) et Leonhard Euler (1707-1783).

En 1827, Victor Poncelet a proposé de changer la forme des aubes des roues au-dessous pour atténuer les chocs et les tourbillons d'eau qui engendrent des pertes d'énergie. Ce progrès a fait passer le rendement des roues de 30 à 60%.

Toutefois, la puissance des moulins est limitée et les turbines, en multipliant la puissance de travail, les remplaceront progressivement.

Le mot turbine (de tourbillon en latin), inventé par le français Claude Bourdin, en 1823, désigne une turbomachine dans laquelle l'énergie d'un fluide moteur fait tourner une roue qui fournit ainsi un travail. Il existe trois sortes de turbines hydrauliques, à vapeur et à gaz.

Le Tourniquet (18ème siècle) : Le tourniquet hydraulique - appareil dit à réaction qui, de nos jours, arrose les jardins - est à l'origine de l'invention de la turbine. Son emploi fut proposé par l'anglais Barker, puis par l'allemand Johann A. Von Segner (1704-1777).

Les turbines hydrauliques (1832) : Le physicien suisse Leonhard Euler avait ébauché la théorie de la réaction à partir de laquelle furent réalisées les premières turbines.

La turbine à réaction fut inventée en 1832 par le français Benoît Fourneyron puis améliorée par Pierre Fontaine-Barron.

La turbine Francis, mise au point par l'ingénieur américain James B. Francis, entre 1849 et 1855, équipe toujours de nombreuses centrales.

La turbine Pelton, issue des roues à action utilisées par les chercheurs d'or de Californie, a été inventée par l'américain Lester Allan Pelton vers 1880. Ces machines occupent les hautes chutes à partir de 200 mètres.

La turbine Kaplan, due à l'autrichien Victor Kaplan vers 1912, a permis d'augmenter le rendement de la turbine Fontaine.

L'utilisation de l'eau pour fournir de l'électricité date de la mise au point de la génératrice de Gramme.

La houille blanche (1889) : C'est l'ingénieur français Aristide Bergès (1833-1904) qui a utilisé pour la première fois en 1889 l'expression de houille blanche (c'est à dire l'énergie des chutes et des cascades) pour présenter les installations de son usine papetière créée en 1868 à Lancy, dans l'Isère. Vers 1893, Bergès a commencé à électrifier son usine. La houille blanche a dès lors désigné l'hydroélectricité [4].

Les turbines à gaz et à vapeur (1884) : Dans une turbine à gaz ou une turbine à vapeur, l'agent moteur agit comme l'eau dans les turbines hydrauliques. Chronologiquement, les inventeurs sont :

Première turbine à vapeur à réaction (1884) : Sir Charles Parsons (GB). Elle équipa des navires.

La turbine à vapeur à action, conçue en 1889 par le suédois Charles Gustave de Laval, est l'ancêtre de toutes les turbines motrices à vapeur du monde. Elle fut améliorée par le français Auguste Râteau en 1897-1900.

Première turbine à gaz employée industriellement : Holz Worth, Allemagne, 1909-1910.

Turbine à gaz à circuit fermé : mise au point par le PR Ackeret et la Dr Keller (suisse) et construite en 1940 sous le nom de turbine aérodynamique Escher-Wyss

### **1.3 Histoire de gouvernance de l'eau**

#### **1.3.1 L'Hydraulique dans la civilisation gréco-romaine**

Ces deux grandes civilisations se sont presque superposées dans le temps et dans l'espace. Elles sont surtout glorifiées, l'une par ses richesses philosophiques et organiques et l'autre par son génie universel en hydraulique et ses exploits militaires. Parmi les philosophes de cette

époque, Thalès de Milet ainsi que Pythagore de Samos, Démocrite, Platon et Aristote. Le potentiel du savoir-faire hydraulique, hérités des civilisations antérieures, a été approfondi et élargi la qualité des eaux, la maîtrise des eaux souterraines ainsi que d'autres aspects hydrauliques. Cet intérêt a été initialement focalisé par l'ouvrage d'Hippocrate . Intitulé " les climats, les eaux et les contres", dans lequel l'accent a été mis sur l'intérêt médicinal de l'eau, suivi par les hypothèses de la formation des eaux souterraines, abordées par les théories de Sénèque et d'Aristote. Cette théorie suppose que c'est l'humidité de l'air qui donne naissance aux eaux souterraines dans les cavernes terrestres, margeant ailleurs sous forme de sources . La canalisation de l'eau pour les usages de la vie quotidienne, déjà maîtrisée en Mésopotamie et en Egypte, apparat en Grèce dans le VI<sup>e</sup> siècle av. J.-C. avec le tunnel considéré, par Hérodote comme l'ouvrage, le plus grand de son temps (Bernadis, 1990). Inspiré par les anciennes découvertes, Ctesibios invente, vers le III<sup>e</sup> siècle av. J.-C., une roue hydraulique qui abouti plus tard la pompe aspirante foulante . Ce savant grec a aussi mis au point l'hydraule, l'origine du mot hydraulique, une espèce d'orgue produisant la musique par la résonance de l'écoulement. Au troisième siècle avant notre ère, Archimède, connu par sa célèbre loi sur la pousse hydrostatique et la flottabilité, met en service la vis qui porte son nom, constitue d'une hélice tournant dans un cylindre creux et permettant de remonter l'eau sur de faibles pentes . Ces inventions ont contribué largement améliorer l'exhaure de l'eau profonde et l'acheminement de l'eau en altitude. Actionné bras d'homme, l'appareil d'Archimède a une longueur de 2,4 m et un diamètre de 0,3 m pouvant débiter 160 235 l/min. Cette vis sans fin (figure 1) a été utilisée couramment pour irriguer des terrains en léger surplomb par rapport une source d'eau [3].

### **1.3.2 L'Hydraulique en Afrique du nord**

Le savoir hydraulique romaine est propagé dans les nouvelles colonies de l'Afrique du Nord (ex Numidie) en l'an 105, notamment en Tunisie et en Algérie comme en témoignent les vestiges historiques (Alba, 1957). Quelques cas méritent d'être cités, comme les castellum ou réservoirs de la Malga Carthage, d'une capacité de 44000 m<sup>3</sup> et l'aqueduc de Zaghouan d'une longueur de 132km véhiculant un débit de 25.000 m<sup>3</sup>/jour (Bakhlouti, 2003). En Algérie, les empreintes hydrauliques concernent surtout les aqueducs entre Toudja et Bejaia d'une longueur de 21km, celui de Constantine de 35 km ou celui reliant Badias sur l'Oued El Arab de 90km. Dans les anciennes villes romaines telles Cherchell, Tipaza, Timgad ou Djemila, les aménagements hydrauliques urbains sont encore visibles, les thermes de Khenchella, encore en usage, confirment l'intérêt des romains l'hydraulique urbaine (Arrus, 1985). La civilisation gréco-romaine s'est propagé l'est comme au sud de la méditerrané sur les terroirs des anciennes civilisations, une région qui va constituer le berceau de la civilisation arabo-musulmane [3].

### 1.3.3 L'Hydraulique dans la civilisation islamique

La conquête musulmane mène à cette extension géographique principale. Territoire : depuis l'Espagne (al-Andalus) et l'Ifriqiya à l'ouest, jusque l'Inde à l'est, et habité par des populations de culture islamique.

L'islam est né en Arabie en 622 grâce à l'hégire, à la suite de la révélation faite à Mahomet. Les Arabes profitent de la faiblesse des empires voisins (empires byzantin et sassanide). La fulgurante expansion militaire, et le faible rejet des conquérants arabes par les autochtones s'expliquent quant à eux par une cavalerie légère nombreuse et ordonnée, une présence peu contraignante et surtout aux bons comportements des soldats arabes. La volonté d'étendre l'islam (Djihad = "effort dans la foi", c'est-à-dire la volonté de propager la nouvelle foi en un dieu unique, se traduit par une expansion rapide ayant induit à étendre un contrôle sur le commerce mondial. Les hommes de sciences de cette période ne sont pas tous arabes ni musulmans. Certains étaient persans, indiens, égyptiens ou grecs et, parmi eux, figuraient des chrétiens, des juifs ou des sabéens.

L'emploi de l'adjectif « arabe » se justifie parce que le langage universel de la science était alors la langue arabe. L'adjectif « islamique » désigne le cadre culturel

Dans lequel la science est née et s'est développée.

Les Arabes s'enorgueillissaient de maîtriser la poésie et l'art oratoire.

C'est par ce biais que nous sont parvenus des éléments de leurs connaissances rudimentaires et empiriques en médecine, médecine vétérinaire, géographie et, plus particulièrement en astronomie. En effet, ce peuple de nomades et de pasteurs se livrait, depuis la plus haute Antiquité, à des observations du ciel. Ces observations astronomiques leur ont permis de se diriger dans le désert. Ils connaissaient les étoiles fixes et errantes (les planètes), et savaient établir des prévisions météorologiques, connaissances vitales en milieu désertique.

Astronomie, médecine, mathématiques, géographie... autant de domaines dans lesquels la civilisation arabo musulmane apporta des contributions originales. Non seulement elle assimila des savoirs grec, indien, babylonien, persan, qu'elle sut transmettre au temps des grandes traductions, mais elle élaborait aussi une science proprement arabe.

La civilisation de l'Islam s'est emparée de toutes les branches du savoir intellectuel et technique. Elle a accompli des découvertes prodigieuses dans différents domaines de la science qu'il s'agisse de la mesure du temps (horlogeries variées) et du repérage dans l'espace (navigation et création de cartes géographiques) ou de la mise au point de dispositifs mécaniques et optiques. Il convient aussi de ne pas oublier la chimie qui s'applique à comprendre la composition et le

comportement de la matière, ni bien sûr la médecine et l'architecture qui concernent la santé et le bien-être des hommes[3].

#### **1.4 Les science et technique islamique**

Les sciences et techniques islamiques sont développées au Moyen Âge, dans le contexte politico-religieux de l'expansion arabo-musulmane. Le monde arabo-musulman est à son apogée du VIII<sup>e</sup> siècle au milieu du XII<sup>e</sup> siècle : c'est l'âge d'or de la science arabe.

Cette culture scientifique a pris son essor à Damas sous les derniers Omeyyades, puis à Bagdad sous les premiers Abbassides. Elle débute par une traduction accompagnée de lecture critique des ouvrages de l'Antiquité en physique, mathématique, astronomie ou encore médecine, traductions qui concourront à la genèse d'une culture arabe « classique » dans ce contexte, la langue arabe, langue de l'islam, jouera un rôle essentiel comme outil et véhicule de cette culture qui n'est déjà plus une simple transmission de la pensée grecque, car elle comporte de nombreuses innovations. La situation de carrefour de l'Empire arabe explique également en partie les influences indiennes, voire chinoises.

Selon Ahmed Djebbar, si les acquis sont incontestables dans de nombreux domaines, les arabo-musulmans cultiveront l'hermétisme avec l'alchimie ou l'astrologie et conserveront également le géocentrisme de Ptolémée .

Dans sa monumentale Histoire des sciences, George Sarton montre comment après les Egyptiens, les Sumériens, les Grecs, les Alexandrins, les Romains, les Byzantins, les savants du monde musulman (Persans, Arabes, Berbères, juifs, chrétiens, musulmans) ont dominé, en une suite ininterrompue, de 750 à 1100. Citons notamment le chimiste Jabir Ibn Hayyan (vers 800), l'inventeur de l'algèbre et des algorithmes Al-Khawarizmi (780-850), le médecin Ibn Firnas (810-887) qui en 880 construisit la première machine volante faite d'étoffe et de plumes, Rhazès (mort en 925) qui fut le fondateur du premier hôpital, l'astronome et historien Al-Biruni (973-1050), le philosophe et médecin Avicenne (980-1037), ou encore Omar Khayyam (1047-1122), mathématicien et poète. A partir du XII<sup>e</sup> siècle, émergent les savants européens, mais ils doivent encore compter avec le philosophe Averroès (1126-1198), le médecin et théologien juif Maimonide (1135-1204), le géographe et voyageur Ibn Battûta(1304-1377), l'historien Ibn Khaldoun (1332-1406).



Fig-1-2-système hydraulique sophistiqué



fig-1-3- al-turuq al- saniya

## **Chapitre 2**

### **Les ouvrages d'Al-Jazari**

## 2.1 La vie d'al-jazari

Abû al-Izz Ismaïl ibn al-Razzaz Al-Jazari nom relatif à son pays natal "Al-Jazira" une île qui s'étend entre le Tigre et l'Euphrate. Tout ce que nous connaissons sur sa biographie est signalé dans le préambule de son volumineux traité intitulé "Al-Jami' bayna Al-'Ilm wa al-'Amal al-Nafi' fi Sina'at al-Hiyal" (Recueil utile de la théorie et de la pratique pour la construction des moyens ingénieux). Il signale qu'il a vécu à Diyar Baker sous le règne de la famille "Artuq")[4].



**Figure 2.1:**une carte de vie d'al-jazari

Cette famille est arrivée au pouvoir en 570 de l'hégire avec Nur-al-Din (570/1174-581/1185) . Al-Jazari est resté à son service durant plus que quarante ans et c'est sous le règne de Nasir al-Din qu'il a composé son traité. Al-Jazari est décédé.

Al-Jazari nom très célèbre en Occident, en effet, c'est son traité signalé plus haut, qui révéla chez les orientalistes la curiosité d'une recherche sérieuse sur l'histoire des techniques dans le monde arabe.

Par ces recherches Al-Jazari mérita le surnom du père de l'ingénierie moderne grâce à ses diverses constructions précisément détaillées. Ces constructions qui ont influencé la conception des machines modernes d'aujourd'hui à savoir le moteur à combustion, le vilebrequin, la pompe aspirante, l'automatisation programmable et beaucoup d'autres [4].

### 2.1.1 Ses œuvres

Dans ce volumineux traité "al-'Ilm wa al-'amal al-Nafi' fi Sina'at al-Hiyal" (Recueil utile de la théorie et de la pratique dans les procédés ingénieux) , Al-Jazari a consacré une partie assez importante à la mécanique amusante ce traité existe en plusieurs exemplaires . Nous avons eu la chance de feuilleter celui de Topcapi (Istanbul). C'est un manuscrit assez original; il se présente en une très belle écriture claire avec un vocabulaire très familier suivi des explications des mots difficiles. Les illustrations , dans lesquels les plans de projection des mouvements sont bien respectés, attirent l'attention par leur ornement magnifique à coloriage adéquat.

Dans ce manuscrit, Al-Jazari ne se contente pas de schématiser l'ensemble de la machine , il a souvent recours aux éléments, même les plus petits , pour les représenter tout en respectant leurs dimensions. En plus il ajoute , à côté des illustrations de la machine, d'autres vues de profil ; de sorte qu'un clairvoyant dans ce domaine pourra reproduire la machine sans avoir besoin de lire le texte .

Rien n'est à reprocher à l'auteur concernant la présentation du texte. Après avoir mentionné en titre le nom de la machine, il commence par une représentation générale de l'appareil tout en précisant le but de sa construction et en expliquant brièvement son fonctionnement et le rôle de chaque élément ; bien qu'un chapitre sera consacré à toute autre explication; là tous les détails s'y trouvent, de sorte que même un ignorant dans ce domaine pourra reconstruire la machine. Dans ces détails, Al-Jazari , ne se contente pas de donner la forme et les dimensions des pièces qu'il décrit, mais il y va plus loin en précisant la nature du métal , l'épaisseur de la planche métallique à utiliser, la façon dont il faut la découper, la forger pour avoir les pièces voulues . Enfin il termine, tout en précisant clairement, la méthode à suivre pour joindre ces pièces. Une précision minutieuse et très délicate qui ne se présente dans aucun ancien traité. Par ce fait, Al-Jazari se présente comme un expert théoricien , technicien et praticien dans le domaine de la mécanique appliquée.

Dans ce traité, nous trouvons toutes sortes de mécanismes; des roues simples ou dentées , des poulies, des pignons, des systèmes d'engrenage, des soupapes simples ou coniques, de siphons, des robinets (à voie simple, double ou même triple),des plans inclinés , des chaînes , des cordes , des anneaux... Quant aux métaux utilisés, nous trouvons : le fer, le cuivre (rouge et jaune) , le plomb, l'argent et même l'or . Il ne faut pas oublier le bois, utilisé pour la construction des socles et des roues hydrauliques.

Al-Jazari a divisé son traité en six parties dites «Naw'» ou espèce , dont chacune est consacrée à un genre de machine

La première partie fut consacrée aux horloges à automates (genre de clepsydres) dont le fonctionnement se base sur la puissance de l'eau ou la combustion lente d'un liquide.

La deuxième partie intitulée "Construction des vases et des automates pour les cours des repas" renferme la description de dix appareils actionnés par la puissance de l'eau.

La troisième partie fut consacrée aux tasses et aux aiguières, dont le mécanisme donne lieu à divers effets surprenants. Certains de ces appareils servaient aux ablutions , d'autres, amenés aux cours des repas, devaient amuser les convives , même parfois aux dépens de l'un d'entre eux .

La quatrième partie traite une variété de fontaines à jet d'eau automatique, ainsi que des instruments à sifflement perpétuel.

La cinquième partie relève des descriptions relatives à des machines élévatrices d'eau . Il s'agit de petites machines hydrauliques destinées à élever l'eau d'un puits pour une hauteur qui n'excède pas quelques mètres. Nous trouvons aussi la description caractéristique d'une pompe à double piston assez originale pour son temps.

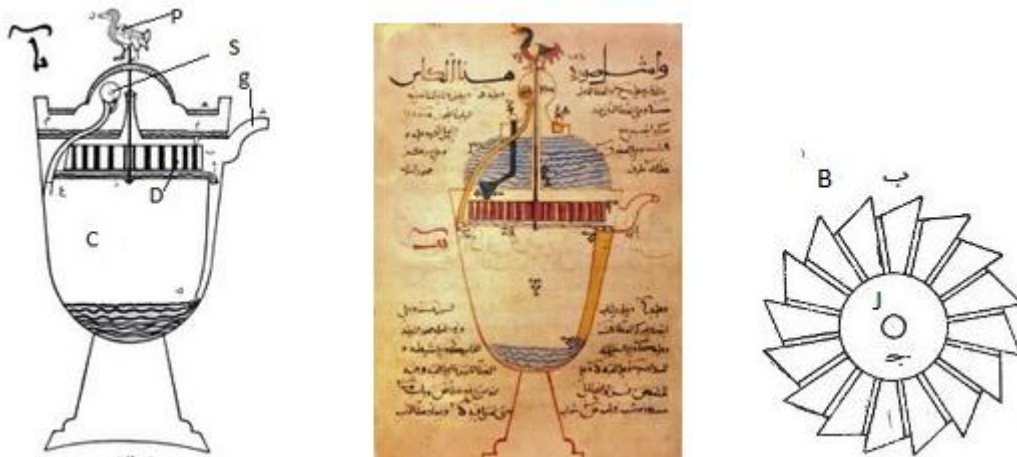
La dernière partie fut réservée aux articles variés . Dont quelques-uns décrivent des procédés très intéressants pour la décoration "mauresque" , nous trouvons la description d'une serrure à lettre. Al-Jazari décrit particulièrement une porte qu'il fit pour l'hôtel de ville de la Médine «Dar al-Mulk» [5].

## **2.2 Réalisations d'Al-Jazari**

### **2.2.1 Coupe qu'on présente au cours des repas**

La figure représentant la coupe est tirée du traité d'Al-Jazari, il dit: ""C'est une coupe en cuivre argenté qui s'appuie sur une longue base. Elle est fermée par un couvercle plan percé d'un certain nombre de trous. Ce couvercle doit pénétrer très légèrement à l'intérieure de la coupe, précisément à une très faible profondeur du bord de sa périphérie. Au dessous du couvercle on a introduit un disque à ailettes obliques D (figure- B-) porté par un autre couvercle muni d'un trou à travers lequel l'eau passe au fond de la coupe. Le tout est couvert par une coupole .L'axe de rotation du disque D traverse la coupole pour porter un oiseau à bec ouvert (P). Une très légère gouttière (g) est fixée à la surface latérale de la coupe juste au-dessous de son bord supérieur.

L'extrémité d'un tuyau à sifflet (S) pénètre à l'intérieur de la coupe après avoir traversé les couvercles.



**Figure 2.2:** la coupe d'Al-jazari

Le serviteur place la coupe au milieu de la ronde formé par les convives et commence à verser sur la coupole, à un très lent rythme, l'eau ou la boisson qui remplit un vase à ouverture très étroite. Le liquide passe à travers les trous du couvercle, fait tourner le disque à palettes et l'oiseau perché au sommet de son axe, tout en tournant l'oiseau siffle très fortement. Dès que la coupe se remplit, l'oiseau s'immobilise pointant son bec vers un convive. Le serviteur présente la coupe à ce dernier qui doit boire, d'un seul coup, tout le contenu de la coupe. Car s'il en reste une petite quantité, même 10 dirhams, et l'on redresse la coupe l'oiseau siffle de nouveau. Cela signifie que le convive doit boire le reste. L'opération se répète même si le convive boit le contenu de la coupe à cent reprises.

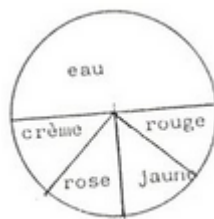
**2.2.2 Une jarre:** Dans laquelle sont versées plusieurs boissons, est placée au coin d'une salle de réception. Elle est munie d'un robinet qui permet de choisir la boisson désirée. Une demi-sphère de cuivre jaune portée par un support de hauteur un empan et demi (soit 33cm) forme le corps principal de la jarre. Son couvercle, en forme de coupole, est surmonté d'une petite sphère munie d'une petite boule. Sa gargouille garde une forme bizarre. Elle est représentée par le corps d'une vache surmonté par un scribe portant à sa main gauche un petit bâton qu'il déplace devant un disque gradué.



**Figure 2.3:** une jarre d'Al-Jazari

A l'intérieur de la jarre est divisé horizontalement en deux parties. La partie inférieure est réservée à la tuyauterie du robinet, qui donne accès à la bouche de la vache. La partie supérieure est divisée verticalement, par une plaque métallique, en deux parties égales. L'une de ces deux parties, et précisément celui qui ne comporte pas l'ouverture qui aboutit à la gargouille, est divisée verticalement par des plaques métalliques de sorte qu'il comporte trois compartiments égaux.

Le disque métallique fixé devant le scribe est divisé en deux demi-cercles dont l'un est réservé à l'eau. L'autre demi-cercle est divisé en quatre parties égales pour les autres boissons (figure ci-contre).



**Figure 2.4:** un disque métallique

### Mode de fonctionnement

On remplit la jarre de boissons désirées. Signalons que les soupapes et le siphon accordé à chaque compartiment permettent le passage de chaque liquide dans son compartiment sans se mélanger même si ces liquides sont versés par la seule ouverture de la jarre réservée à ce but.

Pour avoir la boisson désirée, il suffit de faire tourner le scribe afin que son stylet pointe cette boisson. Le robinet est alors ouvert pour laisser couler le liquide.

**2.2.3 Une cruche placée sur une chaise que le serviteur met à la disposition du roi :** quand le serviteur se retire, un oiseau surmontant la cruche siffle, et l'eau coule de la gargouille de la cruche.



**Figure 2.5:** Une cruche placée sur une chaise que le serviteur met à la disposition du roi

Les éléments de l'artifice :

- Une cruche dont l'intérieur est divisé horizontalement par une plaque métallique (P)
- Un siphon aboutissant à l'extérieur en forme de tête de cane est fixé dans le compartiment supérieur :

  - Un flotteur est inséré dans le goulot de la cruche .
  - Un couvercle spécial(C) est accordé à la cruche. Il est muni d'un robinet d'où coule l'eau, à travers un canal incliné (A), vers le récipient à bascule (R). Ce couvercle est muni d'un siphon (s) fixé dans son fond.

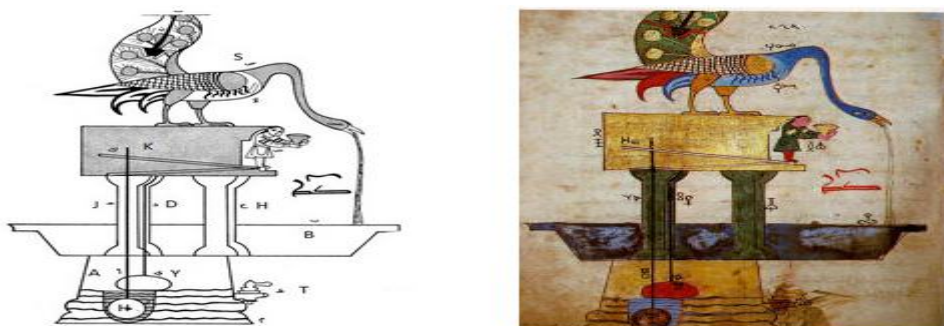
**Mode de fonctionnement**

On place le couvercle sur la cruche après l'avoir rempli d'eau. On ouvre le robinet (A), le récipient à bascule (R) se remplit et se vide à plusieurs reprises. L'eau se rassemble au fond du couvercle (C) et coule dans la cruche à travers le siphon(s). Quand le niveau de l'eau dans la cruche devient plus haut que le cintre du siphon (B), l'eau sort d'un seul coup du bec de la cane.

**2.2.4 Un Paon qui crache de son bec la quantité d'eau nécessaire**

**Pour que le roi puisse faire ses ablutions**

La figure ci-dessous montre les éléments du modèle on distingue:



**Figure 2.6:** un Paon qui crache de son bec la quantité d'eau nécessaire pour que le roi puisse faire ses ablutions

- Un paon perché sur une tour carrée portée par quatre piliers baignant dans un bassin d'eau. Ce dernier repose sur un caisson qui reçoit l'eau utilisée pour les ablutions.

- Deux flotteurs (J et D), indépendants l'un de l'autre, sont reliés chacune à une planchette (K), par une tige rigide dissimulée dans le pilier de gauche.

- Les deux planchettes sont fixées dans la tour carrée. Chacune porte une figurine et repose par son extrémité sur un pivot.

- Un robinet (T) est accordé au caisson pour le vider

### **Mode de fonctionnement**

Au repos, les planchettes sont à plat et occupent une position horizontale. Les deux figurines qui les surmontent (une seule apparaît sur le dessin) occupent dans la tour une position oblique avec les mains appuyées sur les battants d'une porte, derrière laquelle elles se cachent. L'une d'elles porte une boîte d'Ichnan (cendre de plante alcaline), l'autre porte une serviette.

Par une ouverture ménagée dans la queue du paon, on remplit d'eau son corps qui forme le réservoir. Une légère traction sur un anneau fixé au bec de l'animal provoque l'écoulement de l'eau dans le bassin et de là dans le caisson.

En se servant de l'eau, les flotteurs montent et poussent les bords des planchettes qui s'inclinent pour redresser les figurines. Chaque figurine pousse sa porte pour se présenter. Le dispositif est réglé de sorte que la figurine qui porte le plateau d'Ichnan se présente la première, suivi par celle qui porte la serviette.

### **2.3 Les machines utiles - Al-Jazari**

Si l'on veut traiter les machines utiles décrites par Al-Jazari dans son traité "Recueil utile de la théorie et de la pratique des mécanismes ingénieux", nous aurons recours à tout son contenu. En fait, au début du moyen âge, où la technologie n'était pas encore développée et où les rois visaient toujours le luxe dans leur vie courante, on avait bien besoin des horloges, des serrures à lettres, des aiguères pour faire des ablutions, des gargoulettes d'eau chaude et froide, d'un appareil pour la phlébotomie, des distributeurs de rafraichissements, et même des mécanismes de divertissement. Ainsi nous allons essayer de décrire quelques modèles bien choisis de ce traité [6].

Parmi ces machines Al-jazari a décrit quatre appareils pour la phlébotomie. Il leur donne les titres suivants:

a - La cuvette du moine pour les saignées, utilisée pour mesurer la quantité du sang écoulee.

b - La cuvette des deux écrivains pour les saignées, utilisée pour mesurer la quantité du sang écoulee.

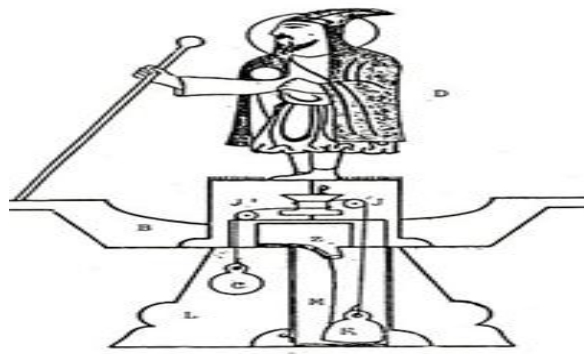
c - La cuvette du trésorier pour les saignées, utilisée pour mesurer la quantité du sang écoulee.

d - La cuvette du château pour la saignée, utilisée pour mesurer la quantité du sang écoulee.

Nous nous contentons de décrire deux de ces quatre machines.

### 2.3.1 La cuvette du moine

L'appareil est formé d'une écuelle concave (B) de diamètre deux empan. En son centre se dresse une colonne sur lequel se tient le moine. Ce dernier porte à sa main droite un bâton qu'il déplace devant le bord gradué de l'écuelle. Cette écuelle en cuivre jaune est portée par un support (L) de hauteur un empan, qui renferme la sacoche (M) et le flotteur (F).



**Figure 2.7:** La cuvette du moine

La sacoche est formée d'un cylindre métallique de longueur égale à quatre fois la longueur d'un doigt et est enveloppée par un cylindre identique sans fond. Ce dernier est fixé au support tandis que la sacoche peut-être retirée à volonté pour le lavage. Une petite ouverture (z) est ménagée au fond de l'écuelle pour permettre au sang de s'écouler dans la sacoche.

Le niveau du sang est repéré par le flotteur (F), ce dernier est lié à un contrepoids (C) par l'intermédiaire d'une corde qui passe sur la gorge de la poulie (J) puis s'enroule une fois sur la gorge de la bobine (P) et passe à nouveau sur celle de la poulie (J').

Les deux poulies (J) et (J') tournent autour de deux axes horizontaux et parallèles. Quant à la bobine (P), elle est fixée sur un axe de rotation vertical qui la traverse en son centre. L'un des bouts de cet axe tourne dans un trou ménagé au fond de l'écuelle tandis que l'autre bout traverse le pied de la figurine du moine [6].

#### Graduation de l'appareil

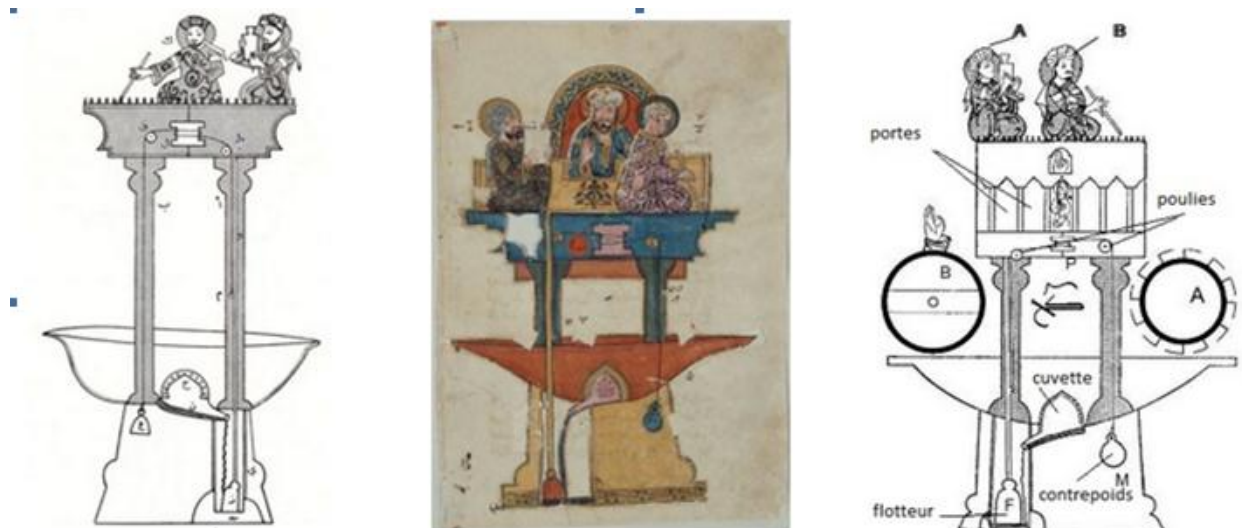
Al-Jazari dit: " Avant de graduer l'appareil, il est assez important de mouiller les parois et le fond de l'écuelle par une petite quantité d'eau (deux dirhams) afin qu'aucune goutte du sang ne s'y adhère. Puis on prend une fiole jaugée de capacité cinq dirhams, on la remplit du sang et on la verse dans l'écuelle. On répète l'opération vingt-quatre fois et l'on aura ainsi dans la sacoche cent vingt-quatre dirhams. On mesure alors la hauteur de cette colonne du sanget l'on choisit la bobine (P) de sorte que le périmètre de sa gorge soit égal à cette hauteur. Dans ces conditions, la

bobine effectue un tour complet lorsque le flotteur passe de son niveau le plus bas (sacoche vide) à son niveau le plus haut sacoche pleine."

Al-Jazari continue:" Pour graduer l'écuelle, il suffit de tracer sur son bord extérieur un arc de cercle de longueur égale au périmètre de la gorge de la bobine(P), puis on divise cet arc en cent vingt parties égales et on marque les divisions obtenues de zéro à 120" [6].

### 2.3.2 La cuvette des écrivains

Pour cette cuvette Al-Jazari a fait monter sur l'écuelle les deux figurines de deux écrivains dont l'un indique par son bâton la quantité du sang écoulee tandis que l'autre l'indique par son crayon sur son tableau (Fig - A ) .



**Figure 2.8:** La cuvette des écrivains

### 2.3.3 La cuvette du trésorier

Cette cuvette est basée toujours sur le même principe et avec les mêmes éléments de base que les deux précédentes, mais Al-Jazari à ajouter une troisième figurine qui indique les dizaines. Chaque fois que le nombre atteint le chiffre dix, la figurine du centre indique par sa main droite un rond qui signifie qu'il ya déjà dix dirhams qui se sont écoulés.

### 2.3.4 La cuvette de château

Cette dernière cuvette est la plus compliquée. En plus des deux écrivains, Al-Jazari a fait monter au-dessus de l'écuelle douze portes derrière lesquelles se cache la statuette d'un petit garçon qui indique par sa main droite le signal de dix dirhams. De plus au- dessus de ces portes et juste au milieu apparaît une brèche de laquelle apparaît une main qui indique par sa poignée 10 puis la suivante indique 20 et la troisième 30 et ainsi de suite jusqu'à 120 dirhams [6].



**Figure 2.9:** La cuvette de château

## 2.4 Les serrures d'Al-Jazari

Dans son traité, Al-Jazari a consacré le sixième chapitre à la description des variétés mécaniques parmi lesquelles nous trouvons la description détaillée de deux serrures: une serrure à lettres, et une autre à clé.

Dans l'introduction de la description de ses serrures Al-Jazari dit: "Nos antécédents, les serruriers ont fabriqué des serrures à lettres parmi lesquelles nous distinguons des serrures qui fonctionnent par la combinaison de quatre lettres relatives à quatre disques rotatifs. D'autres sont manœuvrées, par deux lettres gravées sur deux cylindres rotatifs et d'autres possèdent six disques pour fonctionner à six lettres. Moi, j'ai fabriqué une coffre et j'ai aménagé sur son couvercle une serrure à douze lettres."

### 2.4.1 Description de la serrure

Au quatre coins d'un couvercle métallique rectangulaire sont fixées quatre serrures à lettre dont chacune est manœuvrée par la combinaison de trois lettres de l'alphabet. De plus, autour de chaque serrure, seize lettres de l'alphabet sont gravées sur ce couvercle

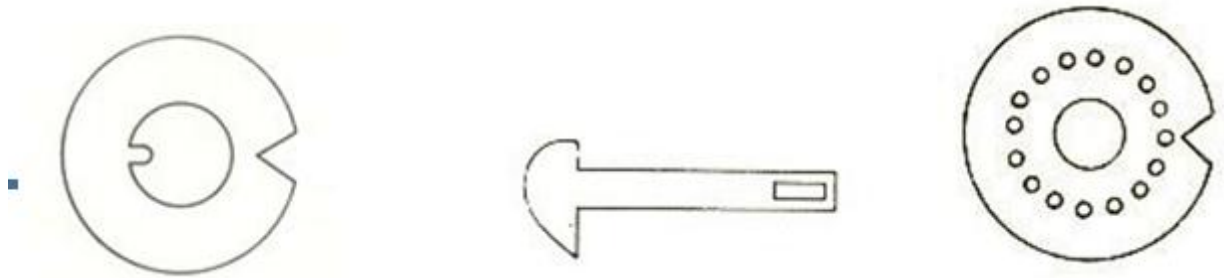
chaque serrure est formée des éléments suivants:



**Figure 2.10:** Description de la serrure

Un premier disque métallique de même épaisseur que le couvercle. Sa périphérie est divisée en seize cases par des sillons bien gravés. Dans chaque case on a marqué une lettre de l'alphabet. Sur son bord on a soudé une petite pièce métallique en forme d'amande dont la moitié est saillante. Diamétralement opposée à cette pièce, on a fixé une autre, ayant la forme de tête d'oiseau. Elle servira de mancheron pour faire tourner le disque. Une ouverture circulaire pratiquée au centre de ce disque permet le passage d'un cylindre creux portant 16 dents

Un second disque de section moyenne est perforé, en son centre, d'un trou permettant le passage du cylindre creux à 16 dents. Sur le périmètre de ce disque, on a taillé une encoche triangulaire permettant l'entrée d'une dent du cylindre précédent [6].



**Figure 2.11:** Description de la serrure

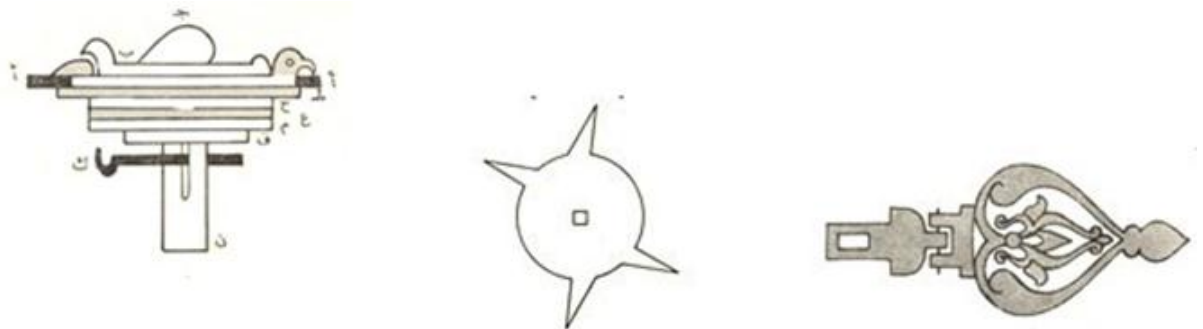
-Un autre disque identique au premier mais de plus petite diamètre pouvant entrer dans le cylindre à 16 dents.

- Un bâtonnet de cuivre jaune de longueur un doigt ayant la forme de la figure( 2.11).

- Un disque métallique, troué en son centre est perforé de seize trous équidistants et dont le périmètre est muni d'une encoche triangulaire (fig 2.11)

- Un troisième disque, plus mince que les deux premiers possède à sa surface un petit clou disposé perpendiculairement à sa face. En son centre on a pratiqué une ouverture carrée qui reçoit l'extrémité équerrie du bâtonnet en cuivre.

Dans l'ensemble on a pour chaque serrure trois disques à lettres et un cylindre denté pour chaque disque . Ainsi à chaque serrure on fait la combinaison de trois lettres[6].



**Figure 2.12:** les serrure

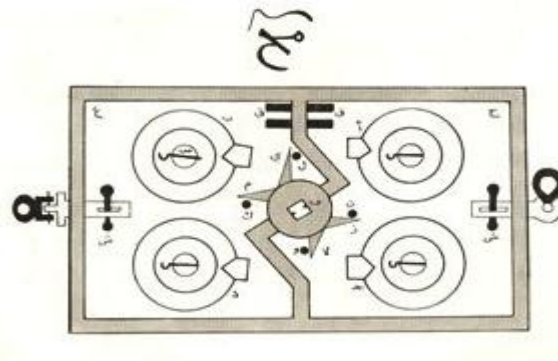
Tous ces éléments empilés l'un au-dessus de l'autre dans un ordre prévu techniquement forment la serrure (figure 2.12).

Après avoir fixé les serrures dans les quatre coins du couvercle du coffre, on aménage au verso du couvercle, une plaque métallique rectangulaire qui cache les serrures après avoir pratiqué une ouverture dans les quatre coins en face des serrures. Le centre de cette plaque est perforé d'un trou apte à recevoir un disque à quatre chevilles bien distinctes (fig-2.12). Finalement cette plaque sera divisée suivant sa largeur en deux parties comme le montre la figure

10. Nous remarquons sur cette figure la ligne grise selon laquelle la plaque est divisée en deux parties. Une petite clé (figure.9) sert à séparer ces deux parties une fois introduites dans le trou du centre.

### Mode de fonctionnement

Al-Jazari dit: " Il est clair que lorsqu'on introduit la clé au centre du disque à chevilles et on la fait tourner à droite, les deux parties de la plaque se rapprochent et les picots fixés latéralement (à droite et à gauche) du coffre rentrent dans leur fente et la serrure centrale se ferme.



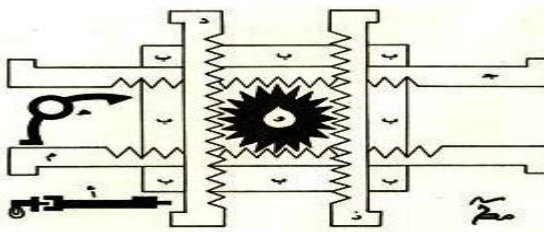
**Figure 2.13:**une serrure

On tourne le disque supérieur de chaque serrure de façon à éliminer la superposition des lettres et c'est ainsi que le coffre est fermé. Pour l'ouvrir, il suffit de positionner la lettre dans chacune des quatre serrures dans l'ordre prévu, de faire rentrer la clé dans l'ouverture qui lui est accordée et de la tourner à gauche. Les deux parties de la plaque se séparent et le coffre est de nouveau ouvert[6].

### 2.4.2 La seconde serrure décrite par Al-Jazari

La figure ci-contre représente la serrure avec ses éléments.

Elle est formée essentiellement d'une épaisse plaque rectangulaire en bois muni de quatre rainures perpendiculaires (deux horizontales et deux verticales).



**Figure 2.13:** La seconde serrure décrite par Al-Jazari

Elle est formée essentiellement d'une épaisse plaque rectangulaire en bois muni de quatre rainures perpendiculaires (deux horizontaux et deux verticaux ).

Dans chaque rainure est encastrée une traverse ayant un côté denté. Au centre de cette plaque, on fixe une roue dentée dont les dents s'engrènent avec les dents des traverses. Ce disque est muni d'un trou central prêt à recevoir la clé. Un cliquet formé d'une lame métallique flexible est fixé sur la plaque. L'une des deux extrémités de cette lame rentre entre les dents du disque peut servir de frein. Une fois écarté de cette position, il se range dans la fente qui lui est appropriée.

### **Mode de fonctionnement**

Al-Jazari dit:" Il est clair que si l'on introduit la clé dans le trou du disque central et on la fait tourner à droite , chaque deux traverses opposées se déplacent en sens opposés et la serrure se referme, dans le cas contraire la serrure est de nouveau ouverte. "

Signalons que dans le cas de la figure la serrure est ouverte.

## **2.5 Développement des techniques de la mécanique horlogère- monde arabe**

L'étude comparée des horloges hydrauliques monumentales décrites précédemment montre clairement de nombreuses analogies. D'une part, elles gardent le même aspect extérieur , d'autre part les statuettes des personnages qui sont animées pour signaler le temps écoulé sont les mêmes dans presque toutes ces horloges; à savoir : des figurines cachées, derrière les battants d'une porte, apparaissent au moment voulu; des oiseaux (faucons , aigles) crachent des balles à intervalles de temps réguliers ; des volets s'illuminent respectivement chaque heure; des portes changent de couleur au coucher du soleil.

Ces remarquables analogies cachent des différences techniques assez importantes plus particulièrement dans les mécanismes de base qui actionnent les machines. Outre les leviers , les poulies , les cordes , chaque technicien a inventé ses propres astuces pour introduire un nouvel élément dans la liste des mécanismes adoptés et assurer par là un pas en avant dans le développement de la mécanique horlogère.

Pour mettre en relief ce développement , nous nous référons aux traités rédigés par les techniciens du monde arabo-musulman , pour dévoiler, dans les limites du possible, la majorité des détails techniques proposés par ces techniciens pour faire fonctionner leurs machines .

À ce but, la description détaillée de quelques horloges hydrauliques appartenant à des périodes différentes est nécessaire.

Dans son volumineux traité signalé à plusieurs reprises "Recueil utile de la théorie et la pratique des procédés ingénieux" Al-Jazari consacre la première partie à un genre (Naw') des horloges hydrauliques . Al-Jazari distingue deux catégories de ces horloges :

1 - des horloges qui mesurent l'heure solaire (al-sa'at al-zamaniyya)

2- des horloges qui mesurent l'heure légale (al-sa'at mustawiya)

À chaque genre il a accordé quelques modèles.

### **2.5.1 Un horloge hydraulique qui indique les heures solaires**

#### **Aspect extérieur**

L'extérieur de cette horloge représente une sorte d'édifice s'élevant à deux hauteurs d'homme et qui comprend tout le mécanisme de l'heure. Sur la façade, une grande porte de neuf empan (1 empan représente 22 à 24 cm) de hauteur et de cinq empan et demi de largeur est fermée par une paroi de bois ou de bronze. Au-dessus de celle-ci une rangée de douze fenêtres (T) sont au début du jour fermées par deux volets; puis au-dessous, douze portes à un battant (T') tout de même couleur. On perçoit ensuite des moulures longitudinales d'un pouce de largeur (SS'), qui laissent passer entre elles une tige recourbée, portant à son extrémité un petit croissant lunaire tel un « dinar » en or.

Au début du jour ce croissant se trouve à l'extrême gauche. Plus bas encore, et de chaque côté du cintre de la porte, deux faucons (B et B') aux ailes éployées sont perchés à l'intérieur de deux niches, au-dessous desquelles sont posés deux vases (V et V') «Quandîl». La voûte de la porte est constituée par douze disques en verre. Au pied du monument, on voit cinq automates musiciens dans des attitudes diverses, deux sonnant de la trompette, deux autres roulant du tambour et le cinquième, au centre, jouant de la timbale.

Au faite de tout cet ensemble, dans un vaste demi-cercle, paraissent les signes du zodiaque, montant de la gauche et disparaissant à droite. Puis, plus au centre, une boule d'or représente le soleil. Il se lève, c'est-à-dire apparaît à gauche au commencement de la première heure du jour et se trouve placé dans la constellation correspondant à la saison. Une autre sphère, en verre, donne l'image de la lune. Si les deux sphères sont situées l'une au-dessous de l'autre, cela signifie qu'on se trouve à l'époque de la nouvelle lune. Mais peu à peu la marche de la sphère lunaire retarde sur celle du soleil, si bien qu'à l'époque de la pleine lune, on voit celle-ci se dégager à gauche, au-dessus de l'horizon, au moment précis où le soleil, ayant terminé sa course journalière, disparaît à droite au-dessous de l'horizon. Comme dans la réalité, au milieu du jour, le soleil est au plus haut point de son parcours [7].

#### **Fonctionnement**

Le fonctionnement de cette horloge est le suivant : au commencement du jour, le petit croissant d'or se met en marche d'un mouvement régulier vers la droite. Il passe devant la première porte et quand il se trouve entre la première et la deuxième, cela signifie que la première heure du jour est écoulée. C'est alors que les deux volets de la première fenêtre s'ouvrent, découvrant un petit personnage qui signifie l'heure écoulée. La première porte fait un demi-tour sur elle-même; elle présente son autre face qui est de couleur différente. Après ces

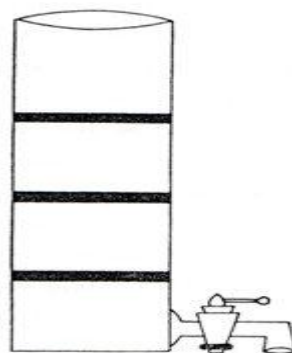
premières phases, les deux faucons basculent et projettent chacun hors de leur bec une bille qui tombe dans chacun des vases, en produisant un son lointain. Puis les deux oiseaux se relèvent, et chaque fois qu'une heure est écoulée, ce jeu recommence avec toutes ses phases. A la fin de la sixième heure, puis à la neuvième et à la douzième, les musiciens entrent en action, jouant de leurs instruments.

La fin de la douzième heure annonce le commencement de la nuit. Toutes les portes se retournent, les personnages se retirent des fenêtres et les volets se referment. C'est à ce moment-là qu'une faible lumière apparaît sous la forme d'un petit croissant dans le premier disque de verre.

La lumière augmente de plus en plus et quand tout le disque est éclairé, la première heure de nuit est passée. Les autres sont indiquées par le nombre de disques lumineux. De nuit comme de jour, les musiciens font entendre leur vacarme à la sixième, à la neuvième et à la douzième heure. Il semble que les heures de jour et celles de nuit n'avaient pas la même durée et que l'homme chargé de surveiller l'horloge (remplissage du réservoir de la clepsydre, remise des boules dans les rigoles correspondant au bec des faucons) pouvait, par un jeu de robinets, faire varier la vitesse d'écoulement de l'eau et en même temps, la durée des heures suivant les saisons, la première heure étant celle qui suit le lever du soleil.

Cet aspect extérieur si sophistiqué nous incite à dévoiler le mécanisme technique de son fonctionnement. A cette fin, une étude technique détaillée de chaque élément est indispensable.

- Aspect intérieur
- Description des éléments du mécanisme intérieur
- le réservoir d'eau principal



**Figure 2.14:**le réservoir d'eau principal

D'après Al-Jazari, ce réservoir est formé de la superposition de quatre récipients identiques et bien jaugés. Le récipient étalon est formé de quatre plaques métalliques rectangulaires de dimension (1empan  $\frac{3}{4}$  de longueur et 1 empan  $\frac{1}{4}$  de largeur. Une plaque carrée de 1

empan $\frac{1}{4}$  de côté forme la base. La hauteur de ce récipient sera graduée par dix traits équidistants. (figure ci-contre ).

Une fois ces récipients construits, on garde l'un d'eux, qui jouera le rôle de base du réservoir principal , on coupe les bases des trois autres , puis on les superpose sur le premier et on les fait souder solidement deux à deux. On aura ainsi un réservoir de hauteur sept empan. La quantité d'eau nécessaire au fonctionnement de l'horloge étant de dix empan, on gardera alors un demi-empan vide pour le flotteur et au fond du récipient la quantité d'eau correspondant à la hauteur d'un demi -empan. Dans ce but le robinet doit être raccordé à une hauteur d'un demi-empan de la base du récipient.

Ce robinet en cuivre rouge est fixé au milieu d'un tuyau de même nature. L'une des extrémités de ce tuyau est fixée au réservoir principal tandis que l'autre est raccordé à un autre petit tuyau recourbé à angle droit dont le bout tronconique pourra être fermé par un bouchon métallique de forme conique. La surface libre de l'eau de ce réservoir doit recevoir le flotteur de la figure ci-contre muni de son anneau.

### **2.5.2 réservoir régulateur ( appelé par Al-Jazari "al-rub" )**

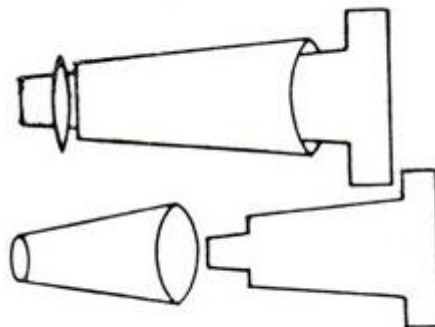
C'est un petit réservoir à section carré de 8 cm de côté, et de hauteur 36 cm .Il est muni d'un tuyau horizontal auquel il faut raccorder le plateau des signes de zodiaque.

Son flotteur ayant la forme ci-contre est vide à l'intérieur et doit se maintenir horizontal à la surface de l'eau . Surmonté de son index ce flotteur peut jouer le rôle de soupape.

### **2.5.3 Le tuyau régulateur (appelé par al-Jazari "al-Jaz'a" )**

L'élément essentiel de ce réservoir est un robinet de forme particulier . Il est formé de deux pièces de cuivre jaune qui s'encastre l'une dans l'autre .l'une d'elle vide à l'intérieure est la pièce femelle du robinet ; l'autre pleine forme la pièce mâle . Cette dernière doit tourner librement dans la pièce femelle une fois les deux pièces encastrée l'une à l'intérieur de l'autre.

La figure ci-dessous montre les deux pièces encastrées en haut et les deux pièces libre en bas .

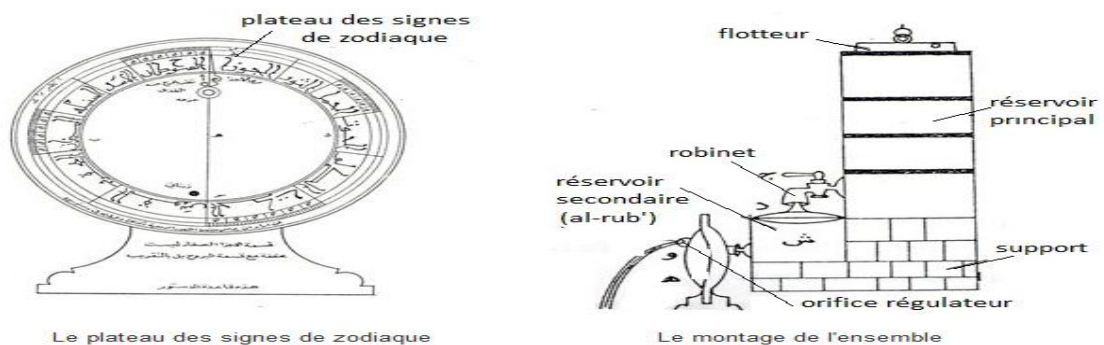


**Figure 2.15:** Le tuyau régulateur (appelé par al-Jazari "al-Jaz'a")

La pièce mâle est perforée le long de sa longueur d'un canal qui donne accès à un autre perforé dans le bas de la même pièce. Ce robinet doit être soudé au dos et juste au centre du plateau des signes de zodiaque. Un tuyau, raccordé au canal de la base, longe un des rayons de ce plateau. Ce tuyau, à extrémité fermée, est percé d'un petit orifice qui coïncide exactement avec une ouverture pratiquée dans ce même plateau. Ainsi, l'eau qui traverse le canal du robinet n'a d'autre sortie que cette ouverture.

#### 2.5.4 Le plateau des signes de zodiaque

Ce plateau est formé d'un disque fixé au robinet du réservoir régulateur dont le tuyau régulateur s'appuie sur une couronne sur laquelle sont marqués les signes de zodiaque et les degrés nécessaires. Sur la face du disque centrale et tout près de l'ouverture, on fixe un index qui longe un rayon et dépasse le bord de la couronne.



**figure 2.16:** Le plateau des signes de zodiaque

Diamétralement opposé à cet index on fixe un bouton qui sert de poignée pour faire tourner le disque. On entoure ce dernier d'une couronne portée par un support de sorte que le disque puisse tourner librement en son centre.

#### 2.5.5 Montage de cet ensemble

On construit un support en pierre sur lequel on fait monter le réservoir principal. Sur un support plus bas on monte le réservoir régulateur de sorte que l'index de son flotteur rentre exactement dans l'ouverture du robinet. On raccorde ensuite à ce réservoir régulateur, le tuyau correspondant muni du plateau des signes de zodiaque. Puis Al-Jazari explique sa méthode pour graduer le plateau du signe de zodiaque.

### 2.6 Description des éléments qui indiquent le temps écoulé

#### 2.6.1 Les portes

On compte douze portes dont chacune est fermée par une plaque de cuivre rectangulaire mobile autour d'un axe horizontal. Ce dernier n'est autre que son axe de symétrie. La moitié

inférieure de cette plaque est alourdi par du plomb de sorte que si on l'écarte de sa position d'équilibre , elle revient sous l'action de son poids.

Au lever du soleil, chaque porte est tournée de 180° autour de son axe et est accrochée à une cheville fixée au mur. Dans cette position la moitié alourdie occupe sa plus haute position. Au passage d'une heure le croissant du chariot décroche une cheville et la porte correspondante tourne de 180° pour reprendre sa position d'équilibre.

### 2.6.2 Les fenêtres

Elles sont au nombre de douze dont chacune est à doubles volets . Ces derniers s'ouvrent sous l'action de la figurine qu'ils cachent. Chaque figurine représente un jeune garçon suspendu par sa tête au milieu de la fenêtre et est étirée vers l'arrière par une cheville fixée à ses pieds. Ainsi dès que cette cheville est décrochée la figurine tombe et pousse par ses pieds les volets et apparaît comme s'il regardait vers le bas.

### 2.6.3 Les canaux

Une planchette de bois de longueur égale à la distance qui couvre les douze portes est divisée longitudinalement en deux parties égales. Dans chaque partie on a perforé douze trous dont le diamètre de chacun permet le passage d'une petite bille de fer. À côté de chaque trou, on a creusé un fossé allongé et peu incliné vers le trou.

Ce dernier est séparé du fossé par une lame métallique mince fixée à une tige mobile autour d'un axe fixé au bord du canal. Cette lame retient les billes dans leur fossé.

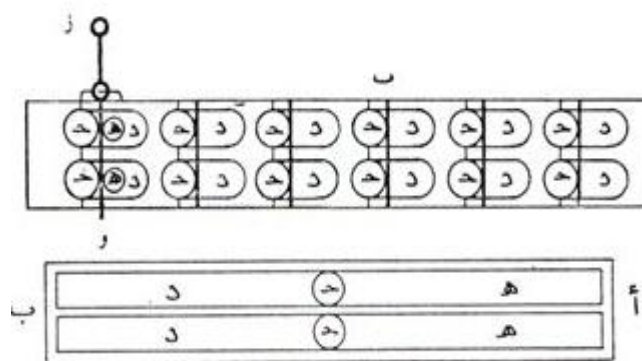


Figure 2.17: Les canaux

Pour libérer ces billes, il suffit de basculer la tige sur son axe pour écarter les lames vers le haut. Les billes se précipitent chacune vers son trou.

Un autre canal à doubles voies est fixé en dessous du précédent. Il est concave et percé de deux trous juste au milieu de sa concavité. Ainsi toute bille qui tombe dans l'une des deux voies de ce canal se dirige nécessairement vers un trou. Chaque trou du canal concave communique avec la tête du faucon par un long tuyau.

#### 2.6.4 Les faucons

Deux faucons métalliques à ailes déployées se trouvent encastrés dans deux petites chambres situées de part et d'autre de la machine. Les pieds de chaque faucon sont fixés sur tige mobile dans un plan vertical. Les ailes, aussi mobiles, sont attachées par leur bord au mur de la chambre.

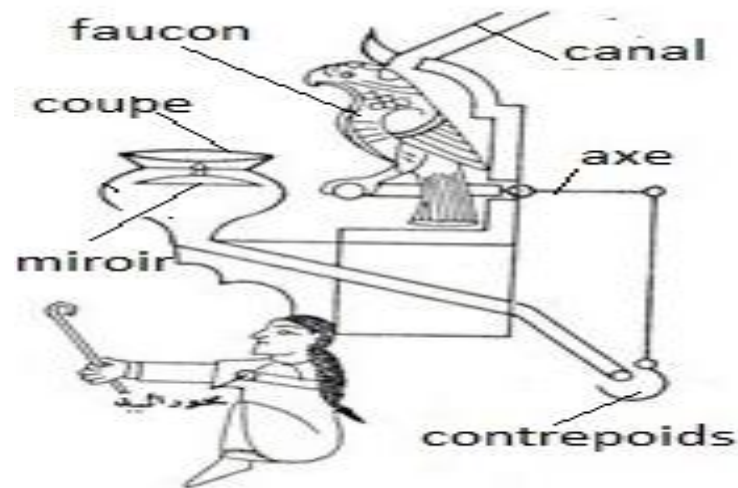


Figure 2.18: Les faucons

La tête du faucon est percée d'une ouverture qui permet le passage de la bille à son bec. Sous l'action du poids de cette bille, le faucon se penche, ouvre son bec et crache la bille dans la coupe. Cette dernière porte en son centre un miroir métallique qui résonne sous l'action du choc de la bille qui continue son chemin vers la chambre de rassemblement.

La tige qui porte le faucon est équilibrée par un contrepoids accroché à l'extrémité d'une chaîne. Lorsque le faucon se penche ses ailes se déploient lui donnant l'aspect d'un oiseau volant.

Al-Jazari précise qu'il est assez important de décorer le faucon et d'étamer ses ailes par une couche d'or[7].

#### 2.6.5 Le chariot

C'est un petit chariot monté sur quatre roues. Il est relié à la roue des heures diurnes par une chaîne qui passe sur la gorge d'une poulie fixe. Une autre chaîne le relie à un contrepoids. Ce chariot porte une tige verticale qui se termine par un croissant en or. Ce chariot se déplace

d'un mouvement rectiligne uniforme sur une planchette de bois dans laquelle on a creusé deux fentes parallèles qui jouent le rôle de rails pour les roues [7].

### 2.6.6 L'heure est aussi indiquée par des cercles qui s'illuminent

À cette fin, on prend un disque de bois de diamètre trois empan et demi. On le perce de douze ouvertures circulaires et équidistantes qui se répartissent sur une couronne de 1/2 empan. derrière ce disque on allume une lampe à huile figure ci-dessous A .

On considère d'autre part un autre disque identique au premier dont on a coupé la moitié d'une de largeur 1/2 empan. Cette couronne est remplacée par un arc de fer. Ce disque est centré sur un axe auquel est fixée une poulie de bois de même diamètre. C'est la rotation de cette dernière qui entraîne la roue à arc pour dévoiler à chaque heure une ouverture illuminée figure ci-dessous B [7].

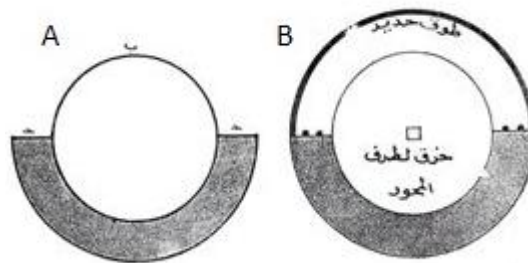
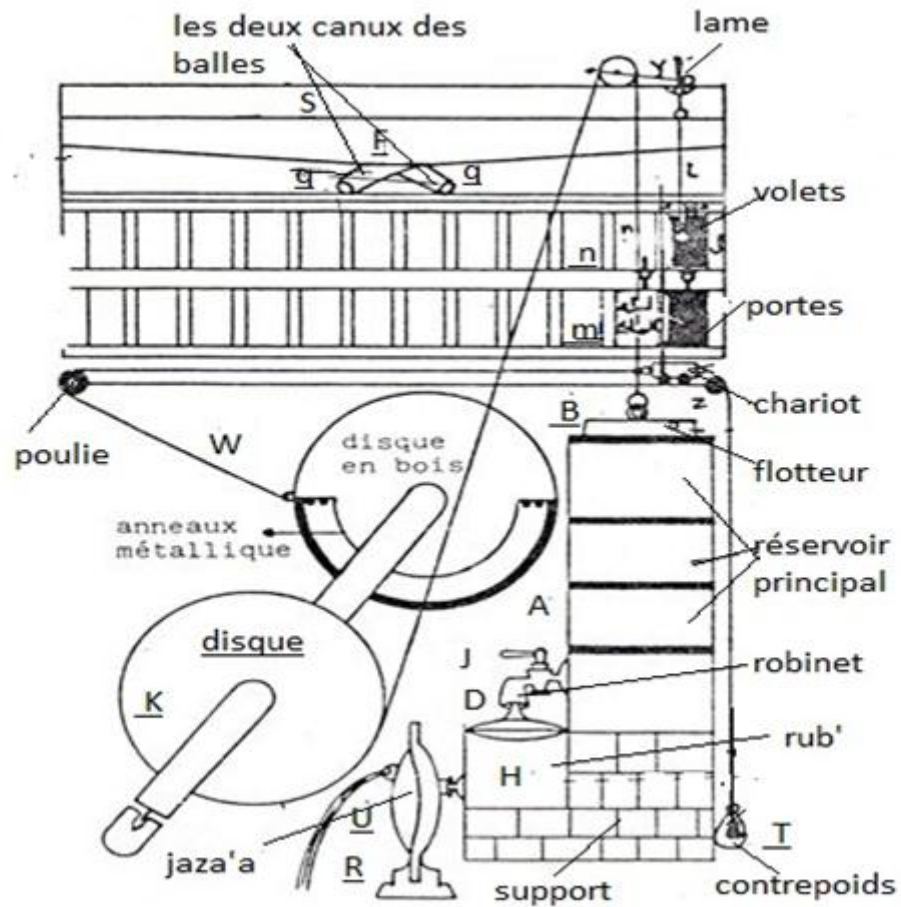


Figure 2.19: la roue à arc



**Figure 2.20:** Montage du mécanisme principale avec les portes, les fenêtres, le chariot et les disques.

## **CHAPITRE 3**

### **Modélisation et lois physique de la Machine Hydraulique d'Al-Jazari**

### 3.1 Les machines élévatrices d'eau

Al-Jazari a décrit des machines élévatoires d'eau plus particulièrement des pompes. Il décrit cinq machines différentes pour élever l'eau d'un puits.

#### 3.1.1 Premier modèle

C'est une machine qui peut élever l'eau d'un puits peu, d'un courant d'eau ou d'une rivière.

**Description.** La figure (A) tirée du traité d'Al-Jazari, à laquelle on a ajouté les lettres de l'alphabet français pour faciliter l'explication. On distingue :

- Le puits duquel il faut puiser l'eau.
- Une écope (t) à cuiller dont la manche est (m h) est creusée en dégorgeoir, plonge dans l'eau. Cette écope est mobile autour d'un axe horizontal passant par l'extrémité de sa manche. Cet axe est monté sur deux étauçons (k) et (L) fixés sur les berges du point d'eau. Cet axe porte une roue à lanternes (I).
- Un autre axe parallèle au premier (n) porte un disque denté vertical (e) et un disque segmentaire (s) qui porte des dents sur le quart de son périmètre. Les dents de la roue segmentaire s'engrènent avec la roue à lanternes, tandis que les dents de la roue dentée verticale s'engrènent avec une autre roue dentée (z) à axe vertical donc tournant dans un plan horizontal. On a ainsi un système d'engrenage droit.
- Sur l'axe vertical de la « roue (z) est fixé une barre d'attelage (hw) à laquelle l'animal est attelé.

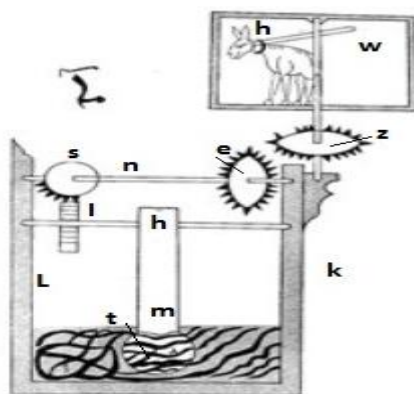


Fig - A -

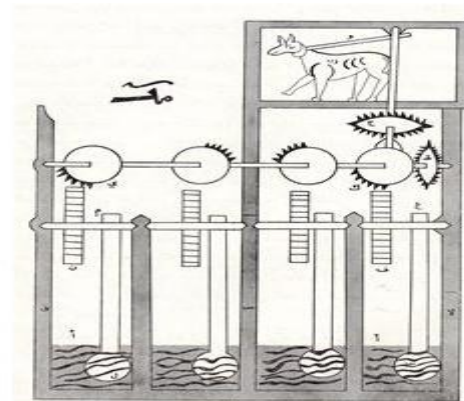


Fig - B -

**Figure 3.1:** Premier modèle d'Al-Jazari

#### Mode de fonctionnement

Lorsque l'animal tourne, il entraîne avec lui la rotation de tout le système à cause des engrenages. L'écope plongée dans l'eau se remplit et se relève laissant passer l'eau dans sa manche à dégorgeoir. L'eau est ainsi déversée dans un canal approprié. L'écope retombe ensuite

et plonge dans l'eau, car les dents de la roue segmentaire ne s'engrènent plus avec la roue à lanternes. L'opération se poursuit tant que l'animal tourne[8].

### 3.1.2 Deuxième modèle

Dans ce modèle Al-Jazari à quadrupler le rendement de la première machine en accordant à la première machine quatre roues segmentaire donc quatre écope. Nécessairement chacune des roues segmentaires porte des dents sur 1/4 de sa périphérie. Le premier sur le premier quart, le second sur le second quart et ainsi de suite. Dans ce cas pour un tour de l'animal on a 4 écopés qui vident respectivement leur contenue dans le canal[8].

### 3.1.3 Troisième modèle

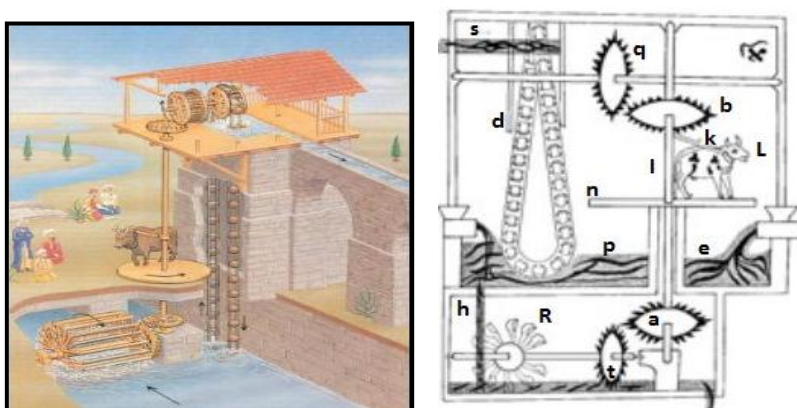
C'est une machine qui peut élever l'eau d'une hauteur de dix empans sans l'aide d'animal.

La figure ci-dessous montre les éléments de la machine

- le bassin d'eau (p e) alimenté par deux courants d'eau situés de part et d'autre du bassin.
- Une petite chambre montée en dessous du bassin et qui reçoit l'eau de ce dernier par une petite ouverture (h) pratiqué dans son fond.

- un axe horizontal fixé dans cette chambre porte une roue à écope (R) et un disque denté(t) qui s'engrènent avec un autre disque horizontal(a) dont l'axe vertical traverse le fond du bassin et monte verticalement pour aboutir à un creux pratiqué dans une planchette horizontale. Cet axe porte un plateau (n) surmonté par la figurine d'une vache dont les pieds affleurent la surface du plateau. Cette vache est attelée à une tige (k) fixée sur l'axe. Ce même axe porte un disque denté(b) qui s'engrène avec un autre disque vertical (q).

- Un axe horizontal porte le disque (q) et une roue à lanterne (d) dont une chaîne à godets s'enroule sur sa gorge.



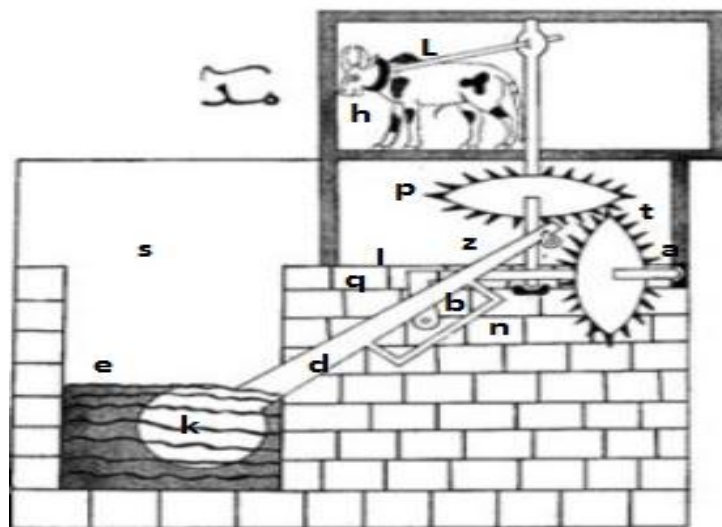
**Figure 3.2:** Troisième modèle d'Al-Jazari

### Mode de fonctionnement

L'eau qui sort du trou (h) fait tourner la roue à écopés (R) qui entraîne avec lui tous les systèmes d'engrenage. Ainsi le plateau tourne avec la figurine de la vache et la roue à lanternes (d) tourne à son tour et fait tourner la chaîne à godets. Ainsi les godets qui plongent dans l'eau se remplissent et montent pour se vider au sommet dans le canal (s) laissant la place à d'autres godets qui se remplissent à leur tour et le mouvement continu tant que le bassin principal est alimenté par l'eau.

Notons que la force motrice est l'eau et non pas l'animal. Ce dernier est un décor.

**3.1.4 Quatrième modèle :** C'est une machine qui sert à élever l'eau d'un puits. La figure ci-dessous tirée du traité d'Al-Jazari montre les éléments de la machine.



**Figure 3.3:** Quatrième modèle d'Al-Jazari

On distingue:

- un système d'engrenage droit formé par les deux roues (t) et (p)
- l'axe vertical de la roue horizontale (P) porte une barre d'attelage (L) à laquelle est attelé l'animal(h).

- l'écope à cuiller (k d) avec un nouveau mécanisme

Ce mécanisme est le suivant :

- L'écope (k) est mobile autour d'un axe qui passe par l'extrémité supérieure de son bras (d). De plus ce bras est muni d'une petite manche (n) qui limitera le glissement de la petite tige (b) sous ce bras. - L'une des extrémités de l'axe (a j) de la roue verticale(t) est mobile dans un trou (a) pratiqué dans une traverse tandis que l'autre extrémité (b) recourbée à angle droit passe au-dessous du bras de l'écope.

Signalons que (s) représente le puits et (e) la surface libre de l'eau

### Mode de fonctionnement

L'écope étant plongée dans l'eau du puits on entraîne l'animal à tourner, le système d'engrenage tourne et l'extrémité (b) de la tige glisse au-dessous du bras de l'écope pour la soulever (c'est un genre de manivelle). L'eau de l'écope coule dans le bras et se déverse dans le canal qui lui est approprié; l'animal aura effectué un demi-tour. Au second demi-tour la tige relâche l'écope qui retombe dans l'eau sous l'action de son poids. L'opération se répète tant que l'animal tourne [8].

#### 3.1.5 Cinquième modèle :

C'est une machine qui élève l'eau d'un puits vers une hauteur de vingt "zira'a" ( 1 -zira'a = 50 cm) . Al-Jazari dit : "Cette machine peut être mise en action selon deux méthodes, la première consiste à utiliser une roue à aubes (h). Cette roue tourne sous l'action d'une chute d'eau dirigée vers ses aubes. Une des deux extrémités de son axe de rotation tourne dans un trou ménagé dans un bloc assez épaisse de bois et l'autre extrémité tourne dans un anneau (s) et porte un plateau concave de surface plane(q) muni d'un petit piton (f)" (figure -A-)

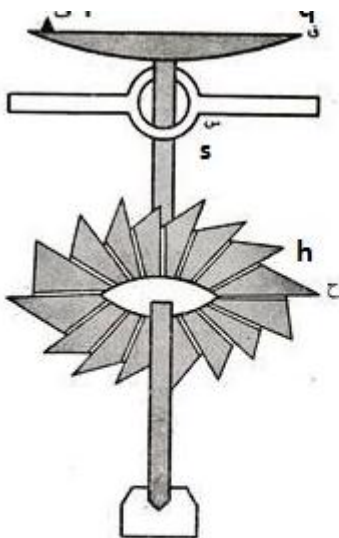


Fig - A -

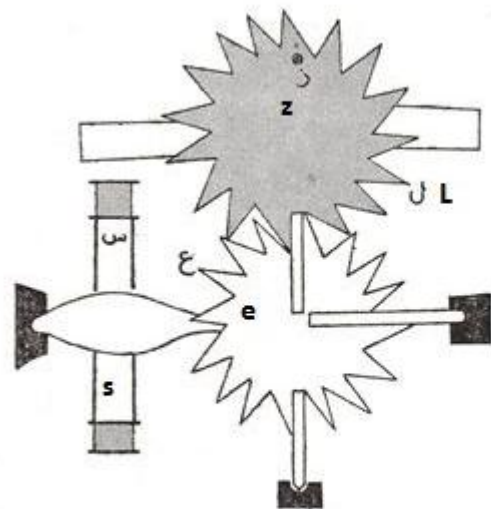
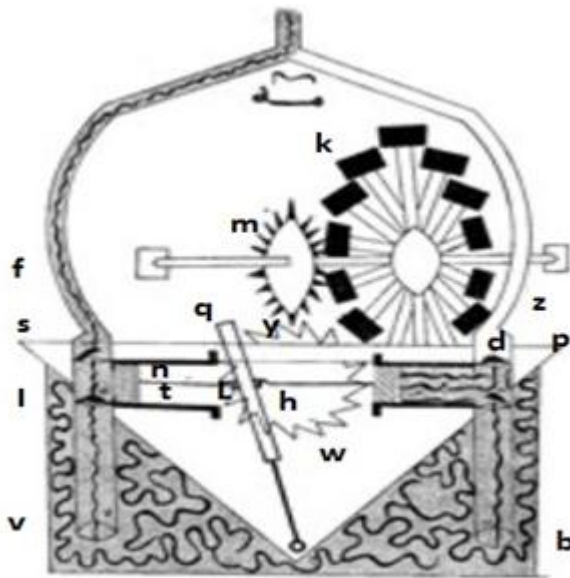


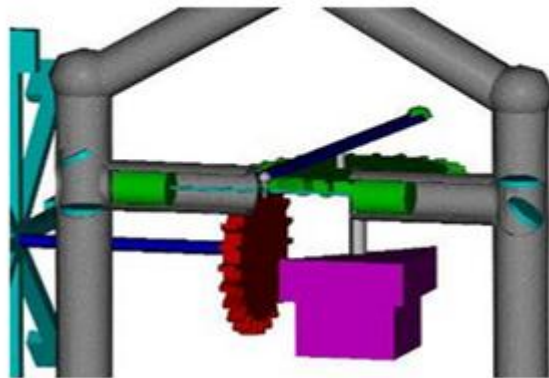
Fig - B -

**Figure 3.4:**Cinquième modèle d'Al-Jazari

La deuxième méthode consiste à prendre une roue à ailettes (s); dont les ailettes inférieures plongent dans l'eau. Son axe de rotation porte une roue dentée verticale (e) dont les dents s'engrènent avec une autre roue dentée horizontale (L). Cette dernière porte un petit piton (z) qui fait marcher la machine.



**Figure 3.5:** image tirée du traité d'Al-Jazari



**Figure 3.6:**Reproduction en trois dimension

### Description de la machine

C'est une pompe à deux pistons qui puisent l'eau du puits alternativement de sorte que le rendement de la quantité d'eau élevée pour un tour de la roue soit considérable.

La figure ci-contre montre les éléments de la machine:

- Un axe horizontal monté au-dessus de la machine porte une grande roue à ailettes (k) et un disque denté (m) qui s'engrène avec une roue dentée horizontale (y).

- Le corps principal est formé d'une chambre triangulaire en bois qui renferme les deux cylindres munis de leurs pistons.

- dans cette même chambre, on trouve le mécanisme de fonctionnement des pistons. Il est formé :

- a- d'un disque denté horizontal (w) porte à sa surface, proche de sa périphérie, un petit piton vertical. L'axe de rotation vertical du disque est mobile dans un trou ménagé au fond de la

boîte. Les dents de ce disque sortent à l'extérieur par l'un des côtés de la boîte pour s'engrener avec les dents d'une roue à axe horizontal (m).

B - Une lame rectangulaire creuse de cuivre (q) est munie d'une tige rigide du même métal. L'extrémité de cette tige est mobile autour d'un clou fixé au sommet du triangle formant la boîte. La fente de cette lame permet de faire glisser à son intérieur le piton du disque denté (w). De part et d'autre de cette lame et juste en son centre on a fixé un anneau à l'intérieur de laquelle pénètre un crampon épais. C'est à ce crampon qu'on attache la tige du piston. Chaque piston est formé de deux disques de cuivre et l'espace les séparant doit être enveloppé de chanvre (précision faite par Al-Jazari)

c- tuyaux d'aspiration et cylindres

La figure ci-dessus montre ;

- Le tuyau aspirateur (Rb) en cuivre, à base ouverte a un diamètre de 1 empan soit 22cm la partie inférieure ouverte sort du fond de la boîte et plonge dans l'eau à puiser.

- Deux soupapes (J) et (d) qui s'ouvre d'un seul côté sous l'action de la pression de l'eau aspirée ou refoulée.

- Un cylindre (A) de longueur 1empan et demi est fixé sur une génératrice de ce tuyau en une position tel qu'il englobe les deux soupapes. Le piston (s) déjà décrit glisse librement dans son cylindre. L'anneau (h) fixé à l'extrémité de cette tige doit être accroché au crampon de la tige creuse.

Notons que les deux cylindres d'aspiration sont prolongés par deux tuyaux (f) et (z) qui se raccordent en une seule sortie.

### **Mode de fonctionnement**

La machine étant montée, on actionne une chute d'eau sur les ailettes de la roue pour entraîner sa rotation. Le disque (m) tourne entraînant la rotation du disque (h) dont le mouvement de rotation se transforme en un mouvement sinusoïdal à cause de la manivelle à coulisse formée par la tige creuse (q) et le piton qui glisse à l'intérieur de sa fente. Ceci se fait de la façon suivante: lorsque la tige longe le diamètre du disque (w), rien ne se produit, mais dès qu'elle passe à l'extrême droite ou à l'extrême gauche l'eau est aspirée par l'un ou l'autre des deux cylindres qui plongent dans l'eau. En effet, dans le cas de la première figure le piston de gauche est refoulé jusqu'au fond de son cylindre, tandis que le piston de droite se trouve à l'extrémité de son piston. Dans ce cas l'eau est aspirée par le tuyau (b) à travers la soupape (J) qui s'ouvre sous l'action de la pression de l'eau, tandis que l'eau du cylindre (T) est refoulée à travers la soupape supérieure[8].

Ainsi l'eau est refoulée alternativement par les deux pistons et déchargée dans le canal approprié.



**Figure 3.7:**La conception qui nous avons réalisés (la machine)

## **3.2 Logiciel solidworks**

### **3.2.1 Définition**

Créé en 1993 par l'éditeur américain éponyme, SolidWorks est racheté le 24 juin 1997 par la société Dassault Systèmes [9].

Parmi les plus grandes organisations utilisant SolidWorks, on peut citer Franckie, Équipement d'emballage MMC, AREVA, Patek Philippe, Mega Bloks, Axiome, ME2C, SACMO, Le Boulch, Robert Renaud, Lorenz Baumer [10] , l'Opéra de Paris, Jtekt[9], GTT et le Ministère de l'Éducation nationale français[11].

### **3.2.2 Fonctionnement**

SolidWorks est un modeler 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.

### 3.3 Réalisation de pièces à l'aide d'un modelleur 3D

#### 3.3.1 Réglage des barres d'outils

- ▶ Ouvrir le logiciel SolidWorks.
- ▶ Cliquer sur Fichier / Nouveau et choisir « Pièce ».
- ▶ Cliquer sur Outils / Options / Options du système / Couleur puis sur :
  - Restaurer tous les réglages par défaut,
  - Tout restaurer

Cliquer sur Outils / personnaliser, décocher « Activer le Gestionnaire de commandes », puis garder

seulement les barres d'outils :

- Standard (barre habituelle sur tous les logiciels),
- Affichage (barre pour différents zoom ou vues),
- Esquisse (barre servant à réaliser des lignes, rectangles...).
- Fonctions (barre servant à réaliser des volumes...)

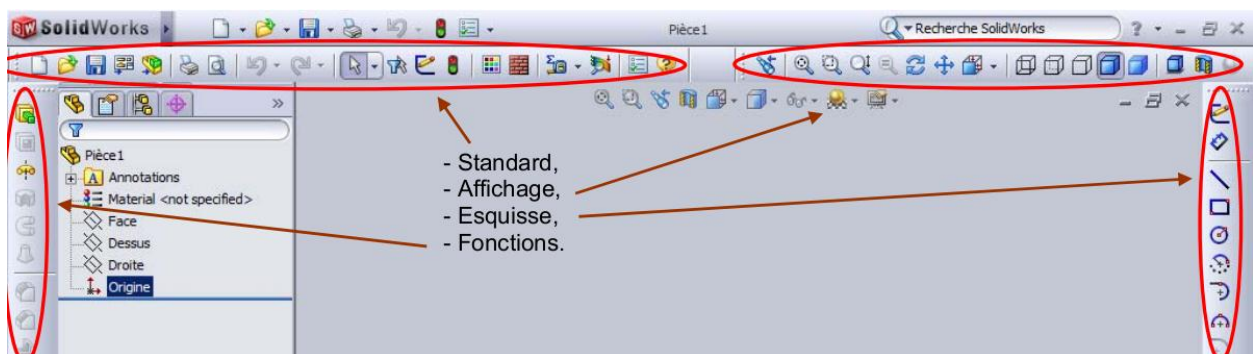


Figure 3.8: fenêtre de solidworks

### 3.3.2 Utilisation des outils d'affichage.

- ▶ Effacer tous les fichiers et répertoires placés à l'intérieur du répertoire « mes documents élève » situé sur le bureau, à l'exception du répertoire « Digiview » (s'il existe).

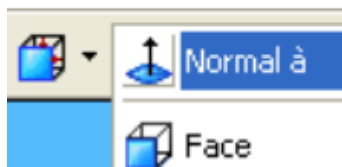
La représentation 3D de la crosse de la pompe doseuse est donnée dans le répertoire SII Élève / TP Sup / TP 15.2.

- ▶ Copier le fichier « crosse » dans le répertoire « mes documents élève », puis ouvrir ce fichier.
- ▶ Essayer tous les outils de la barre d'outils Affichage.

NB1 : Visionner bien cette pièce, car c'est cette dernière qui sera à dessiner...


NB2 : L'icône nommée « Normal à » est intéressante pour obtenir une vue perpendiculaire à une face.

- ▶ Cliquer sur Fichier / Fermer.





15) Méthodologie de réalisation d'une pièce.

1<sup>ère</sup> étape : Création d'un profil (esquisse 2D)

- ▶ Créer une esquisse .


- ▶ Réaliser le profil de l'esquisse à l'aide des outils ligne, rectangle, cercle... de la barre d'outils Esquisse.

- ▶ Utiliser les outils d'affichage si cela est nécessaire : .


- ▶ Ajouter des relations géométriques (horizontal, vertical, parallèle, perpendiculaire...): .

- ▶ Supprimer des relations géométriques directement sur l'esquisse, si vous le souhaitez.


- ▶ Coter : .

- ▶ Fermer l'esquisse : .

Astuces pour les esquisses :

- Pour sortir d'un menu (ligne, rectangle...), taper sur la touche « Échap ».
- Pour effacer un trait, sélectionner-le, puis taper sur la touche « Suppr ».
- Pour modifier une cote, double-cliquer sur celle-ci.
- Pour rouvrir une esquisse qui a été fermée, en vue de sa modification ultérieure, cliquer droit sur le nom de celle-ci dans l'arbre de création (colonne de gauche), puis choisir l'icône « éditer l'esquisse »  .
- Lors de la création d'une nouvelle esquisse, bien sélectionner la bonne face ou le bon plan sur laquelle ou lequel l'esquisse sera dessinée...



Mais si l'esquisse doit être réalisée sur un plan qui n'existe pas encore (c'est-à-dire dans le cas du profil P3), il faut d'abord créer ce plan en cliquant sur la fonction « géométrie de référence »

 , puis en sélectionnant une face qui sera parallèle à votre futur plan, et en indiquant la distance de décalage les séparant.

2<sup>ème</sup> étape : Création d'un volume (fonction 3D)

Réaliser le volume par extrusion, révolution... de cette esquisse à l'aide des outils de la barre d'outils Fonctions.

Astuces pour les fonctions 3D :

- Pour rouvrir une fonction 3D qui a été fermée, en vue de sa modification ultérieure, cliquer droit sur le nom de celle-ci dans l'arbre de création, puis choisir l'icône « éditer la fonction » .
- Parfois pour que la modification ci-dessus ait lieu, il est nécessaire de cliquer sur l'icône reconstruire .

N'oublier pas de sauvegarder de temps en temps...

- Sauvegarder dans le répertoire « mes documents élève » avant que le logiciel plante...
- La sauvegarde conduira à la création d'un fichier portant l'extension \*.sldprt (ce qui signifie que le fichier est une pièce, contrairement à un assemblage où l'extension est \*.sldasm).

### 3.3.3 Réalisation d'assemblages à l'aide d'un modelleur 3D

#### Principe

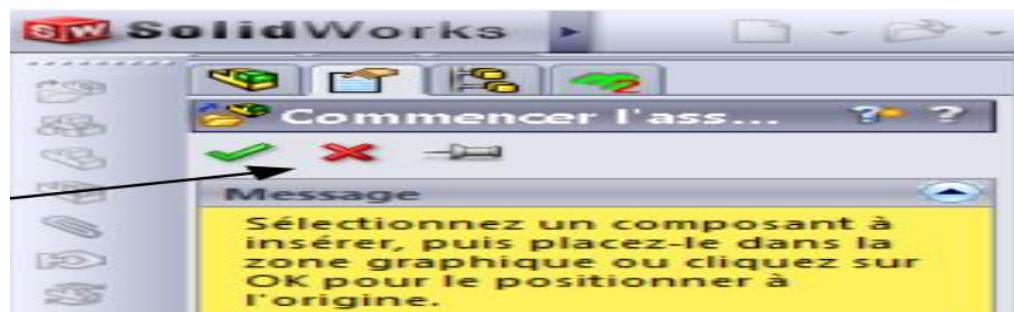
► Lire l'animation « Principe de réalisation d'assemblages en DAO » située dans le répertoire SII Élève / TP Sup / TP 15.2 DAO et MAO.

-Réglage des barres d'outils.

► Fermer la pièce qui vient d'être créée.

► Cliquer sur Fichier / Nouveau et choisir « Assemblage ».

► Cliquer sur la croix pour fermer le menu « Insérer un composant ».



Cliquer sur Outils / personnaliser, décocher « Activer le Gestionnaire de commandes », puis garder seulement les barres d'outils :

- Standard (barre habituelle sur tous les logiciels),

- Affichage (barre pour différents zoom ou vues),

- Assemblage (barre servant à insérer des composants, à les déplacer, à les contraindre...),

### 3.4 Etude physique de la pompe hydraulique d'Al-Jazari

Nous avons étudié la troisième pompe hydraulique d'Al-Jazari et nous développons une conception simple de cette machine hydraulique. Nous avons expliqué leurs pièces constitutives et le principe de fonctionnement avec les lois physiques.

#### 3.4.1 Description de la pompe hydraulique

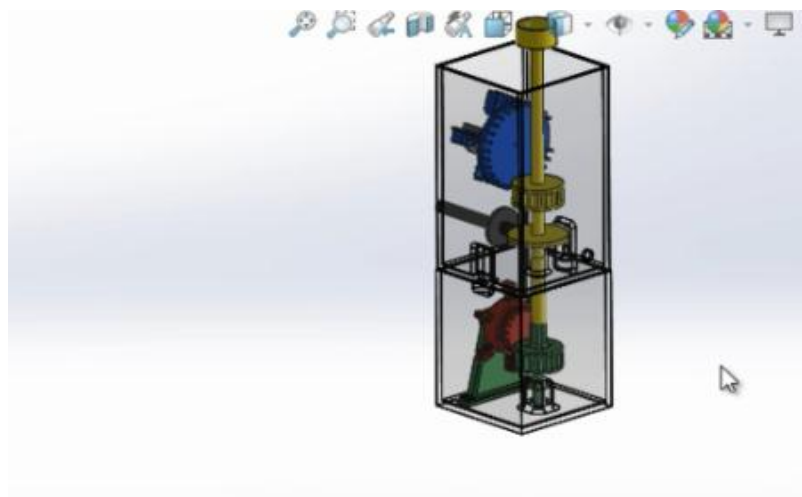
Cette machine est la troisième de son genre, mais n'est pas comme les autres parce qu'elle utilise la force de l'eau, fabriquée par Al-Jazari comme un outil de décoration porté proche d'un lac dans les jardins royaux et cela pour deux raisons : le premier pour la décoration et attirer l'attention, et le deuxième pour irriguer le jardin.

Par la figure (Figure 3.2) nous remarquons que cette pompe est composée de deux parties :

**a-La première est la partie inférieure cachée sous le lac :** on trouve la roue des cuillères attachée avec des engrenages partiels par un axe horizontal de rotation, verticalisé par un autre engrenage sur l'axe vertical de rotation, et trouve aussi un trou pour débarrasser l'eau dans le lac.

**b-La seconde est la partie supérieure:** laquelle apparait la machine au-dessus du lac : on trouve un réservoir d'eau rempli par deux sortie d'eau sur le côté , et on trouve aussi un trou qui débarrasse l'eau vers la partie inférieure de la machine, dans le centre un axe de rotation vertical arrivé par la partie inférieure qui porte un disque attaché sur l'axe de rotation vertical par une corde et aussi porte d'engrenage partiel relié avec un deuxième engrenage sur l'axe de rotation horizontal, et sur le côté en trouvé une chaîne des godets sa piste terminer par un canal de vidange.

### 3.4.2 Conception des machines



**Figure 3.9:** Conception de machine hydraulique (3 dimension)

### 3.4.3 Mécanisme de la pompe hydraulique

Le mécanisme de cette machine est très simple, le réservoir rempli par l'eau à partir de deux sorties au côté de lac, l'eau débarrasse par un trou qui existe dans le réservoir puis déborder sur la roue des cuillères, qui fait tourner la roue et les deux engrenages reliés, et ainsi tourne également l'axe vertical de rotation qui tourne les engrenages supérieurs, provoque la rotation de celles-ci pour faire tourner les godets associés à la chaîne supérieure de rotation de l'axe horizontal, de sorte que les godets de support successivement de l'eau de la cuve et lorsque le godet jusqu'au canal où l'eau se vide et ensuite revenir vide est à nouveau remplie et comme suite l'opération répétée avec tous les godets[12].

### 3.5 Phénomènes et lois physique de la de la pompe hydraulique

Dans cette étude nous présentons les phénomènes physiques de la machine, qui sont résumés:

1. lois du mouvement de rotation (axe de rotation, vitesse angulaire... )
2. Transmission de mouvement par ensembles des engrenages, qui transmet le mouvement de la forme horizontale de la forme verticale

#### 3.5.1 Engrenages

A-Engrenages cylindriques à denture droite

- Paramètres d'un engrenage Ce type d'engrenage peut-être de deux types : les engrenages extérieurs (pignon roue) ou intérieur (pignon couronne).

Chaque roue, pignon ou couronne est définie par :

- Son nombre de dents :  $Z$
- Sa largeur :  $b$  Par contre sont commun aux deux roues de l'engrenage :
- Le module des dents :  $m$
- L'angle de pression

#### - Eléments d'un engrenage

Pour un engrenage, on définit :

- Cercles ou cylindres primitifs : Ce sont des cercles représentant deux roues de friction ayant le même rapport de transmission. (Ces cercles sont tangents).
- Cercles ou cylindres de tête : Ce sont des cercles passant par les sommets des dents.
- Cercles ou cylindres de pied : Ce sont des cercles passant par les pieds des dents.
- Entraxe : C'est la distance entre les deux axes des deux roues.
- Pas primitif : C'est la distance entre deux dents consécutives au niveau du cercle primitif.
- Droite d'action : C'est la droite normale au contact entre les dents des deux roues. Elle est donc le support de l'action d'une roue sur l'autre.
- Angle de pression: La droite d'action est invariante, quelle que soit la position des roues. Elle est inclinée d'un angle  $\alpha$  appelé angle de pression par rapport à la tangente aux cercles primitifs.
- Saillie et creux d'une dents : Ce sont les parties de la dent se situant entre le cercle primitif et respectivement le cercle tête et le cercle de pied de l'engrenage.

#### 3.5.2 Rapport d'une transmission de mouvement de rotation

La rotation (du latin *rotare*: « tourner ») ou mouvement de rotation est l'un des deux mouvements simples fondamentaux avec le mouvement de translation rectiligne.

Avant d'attaquer sereinement les mouvements de rotation, il est recommandé de s'appropriier les bases de la cinématique puis de la dynamique du point matériel dans les tutoriels suivants :

- La cinématique des mouvements mono dimensionnels.

- La cinématique des mouvements à plusieurs dimensions.
- La dynamique et les lois de Newton.

### Vitesse et accélération angulaire instantanée

On commence par définir la vitesse angulaire moyenne en *rad/s* entre deux instants  $t$  et  $t+dt$  :

$$\omega_{moy} = \frac{\theta(t+dt) - \theta(t)}{dt}$$

Par analogie avec les mouvements de translation, on définit la vitesse angulaire comme la dérivée de la position angulaire.

On définit le rapport de transmission comme étant le rapport des vitesses du mouvement de sortie sur le mouvement d'entrée ; la plupart du temps, il s'agit d'une loi proportionnelle qui ne dépend pas de la position du mécanisme.

### Rapport de transmission

L'utilisation de roues dentées de diamètre primitif différent permet d'obtenir une modification de la fréquence de rotation de l'arbre récepteur  $N_2$  par rapport à la fréquence de rotation de l'arbre moteur  $N_1$ .

#### *Cas d'un engrenage à contact extérieur*

Comme les sens de rotation sont inversés, le rapport de transmission est négatif :

$$r = \frac{N_{\text{sortie}}}{N_{\text{entrée}}} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

Et l'on montre qu'il vaut :  $r = -\frac{d_1}{d_2} = -\frac{Z_1}{Z_2}$

avec :  $Z_1$  nombre de dents du pignon 1

$Z_2$  nombre de dents de la roue 2

#### *Cas d'un engrenage à contact intérieur*

Comme les sens de rotation sont conservés, le rapport de transmission est positif :

$$r = \frac{N_{\text{sortie}}}{N_{\text{entrée}}} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

Et l'on montre qu'il vaut :  $r = \frac{d_1}{d_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$

et avec :  $d_1$  diamètre primitif du pignon 1

$d_2$  diamètre primitif de la roue 2

Si on combine plusieurs engrenages alors il faut généraliser la formule du rapport de transmission :

En résumé :

$$r = \frac{\omega_s}{\omega_e} = (-1)^k \frac{\prod Z_{\text{menantes}}}{\prod Z_{\text{menées}}}$$

avec :  $k$  : nombre de contacts extérieurs

$\prod Z_{\text{menantes}}$  : produit des nombres de dents des roues/pignons menant (qui entraînent)

$\prod Z_{\text{menées}}$  : produit des nombres de dents des roues/pignons menés (qui sont entraînés)

Remarque :

- si  $r < 1$  on parlera de rapport de réduction
- si  $r > 1$  on parlera de rapport de démultiplication

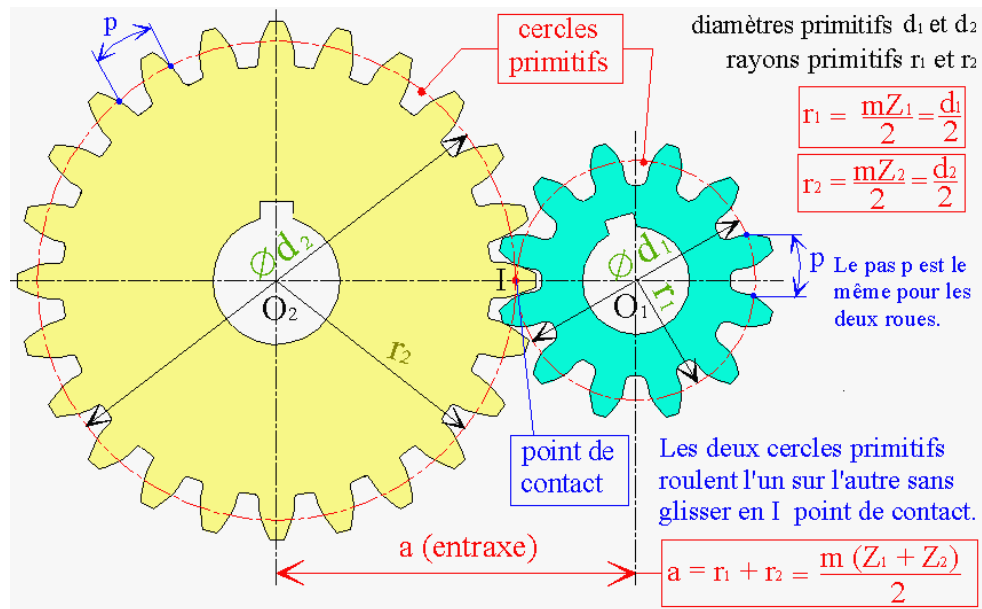


Figure 3.10: transmission de mouvement par engrenage

### 3.5.3 Transmissions de mouvement par courroies

La courroie est une pièce utilisée pour la transmission du mouvement. Elle est construite dans un matériau souple. Par rapport à d'autres systèmes, elle présente l'avantage d'une grande souplesse de conception.

La loi de la gravité: l'utilisation de la loi et la gravité pour l'augmentation de la quantité d'eau dans chaque étage supérieur, ainsi que le débit d'eau et dans les canaux.

La loi des forces fluides: l'effet de l'eau sur le mouvement des cylindres et des engrenages.

Lien flexible en mouvement continu.

La vitesse de rotation dépend du rapport des diamètres des poulies. Le sens de rotation est le même pour les deux poulies.

## **Conclusion**

## Conclusion

L'eau, symbole de la vie, thème principal du Coran, l'aumône qui reflète le premier acte de générosité, posait de grands problèmes dans les pays arabo-musulmans.

Outre son utilisation pour irriguer, boire et répondre aux besoins domestiques et industriels, les Arabes cherchaient l'eau pour se défendre de la chaleur. Ainsi diverses solutions, selon la configuration du terrain, ont été mises en application pour trouver l'eau, l'amasser, l'emmagasiner, la puiser, l'élever et la transporter, ce sont ces solutions qui nous intéressent dans cette catégorie.

Ce travail vise dans le cadre des efforts déployés pour mettre en évidence le rôle des scientifiques musulmans dans les progrès de la civilisation dans les aspects scientifiques. Peut-être, la plus grande innovation scientifique se trouve dans le domaine de la mécanique est une machine hydraulique qui a été conçue par les scientifiques musulmans Al-Jazari (1136-1206), qui est la base de la science dans la branche moderne de la mécanique, qui ont un de nombreuses applications dans le domaine de la science du mouvement dans l'industrie.

Ainsi, contribuer en mettant en avant l'invention d'Al-Jazari, nous devons cartographier les lois de la physique actuellement dans la science de la mécanique, et nous mettons les lois qui correspondent à la machine hydraulique pendant le mouvement et pendant l'état statique. L'étude portait sur un aspect historique du scientifique Al-Jazari et sa machine hydraulique, la perception typique de cette machine.

Dans ce sens, nous avons fait une modélisation de la troisième machine hydraulique d'Al-Jazari, y compris physiquement ce qui suit:

Les résultats trouvés dans notre étude sont :

- Nous avons montré le rôle d'Al-Jazari dans le cadre de développement des machines hydrauliques.
- Nous avons réalisé un prototype de la machine a les démontions (34x34x100).
- Nous avons fait une modélisation de la troisième machine hydraulique d'Al-Jazari, nous avons présenté les phénomènes physiques principaux à la compréhension du mécanisme de mouvement de la machine, tel que :
  - Mouvement de rotation de la machine hydraulique,
  - Système d'engrenage de la machine hydraulique et en soulignant son importance dans la transmission.

## Bibliographie

- [1] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Hydraulique#D.C3.A9finitions>.
- [2] 1.Smadhi . D., L. ZELLA :« Histoire de la gouvernance del'eau (deuxieme partie)N5,juin 2006.
- [3] D. Smadhi, L. Zella/ Larhyss Journal,5(2006) 19-31.
- [4] <http://ressources2.techno.free.fr/mecanique/hydrau/page3.html>.
- [5] <http://sanjakdar-chaarani.com/science-arabo-islamique/index.php/la-mecanique-appliquee/savants-interesses/144-ismail-al-jazari>
- [6] <http://sanjakdar-chaarani.com/science-arabo-islamique/index.php/la-mecanique-amusante/les-machines-utiles/152-les-machines-utiles-al-jazari?showall=1&limitstart=>
- [7] [file:/// Science-Arabo-Islamique%20-%20D%C3%A9veloppement%20de%20la%20m%C3%A9canique%20horlog%C3%AAre.htm](file:///Science-Arabo-Islamique%20-%20D%C3%A9veloppement%20de%20la%20m%C3%A9canique%20horlog%C3%AAre.htm)
- [8] <http://sanjakdar-chaarani.com/science-arabo-islamique/index.php/la-mecanique-des-machines-elevatrice-d-eau/fontaines-et-pompes/les-pompes?showall=1&limitstart=>.
- [9] Lancement de la dernière version de SolidWorks [archive]
- [10] Solidworks : [solidworks.fr](http://solidworks.fr) Profil de la société [archive]
- [11] « *Nos clients témoignent / A-S3D* » [archive], sur [www.logiciel-cao.com](http://www.logiciel-cao.com) (consulté le 10 mars 2017).
- [12] "Al-jami'bayna Al-'ilm wa al-Amal al-nafi' fsina'at al-hiyal"

يندرج هذا العمل في إطار المجهودات المبذولة لإبراز دور العلماء المسلمين في تقدم الحضارات في الجوانب العلمية ، ولعل أعظم ابتكار علمي نجده في مجال الميكانيكا هو الآلة الهيدروليكية التي قام بتصميمها العالم المسلم الجزري (1206-1136م) والتي تعد أساس علم المسننات في فرع الميكانيكا الحديث التي لها تطبيقات واسعة في مجال نقل الحركة في الصناعة. ومساهمة منا في إبراز ما اخترعه الجزري ، قمنا بإسقاط قوانين الفيزياء المعروفة حاليا في علم الميكانيكا على الآلة الهيدروليكية عند حركتها وأثناء السكون . الدراسة شملت جانب تاريخي للجزري وآلته الهيدروليكية ، ثم تصور نموذجي لهذه الآلة ، بعد ذلك قمنا بدراسة الآلة فيزيائيا شملت ما يلي : دراسة أبعاد الآلة،دراسة الحركة الدورانية للآلة الهيدروليكية، دراسة نظام المسننات في الآلة الهيدروليكية وإبراز أهميته في نقل الحركة. وأهم ما توصلنا له من نتائج : إضافة للإسقاطات التي قمنا بإنجازها على الآلة الهيدروليكية والتي نعتقد ونأمل أن تكون لبنة في إبراز إرثنا الحضاري ، هو أن أساس نظام المسننات المعروف بدوره الكبير في الصناعة الحديثة يعود الفضل لاكتشافه لعالم مسلم هو الجزري. كما أن أساس تحويل الحركة إلى طاقة التي تعتمد عليه المضخات الحديثة عند ضخ المياه لارتفاعات شاهقة مبدأه الآلة الهيدروليكية التي قام بتصميمها الجزري.

**الكلمات المفتاحية:** الآلة الهيدروليكية - الجزري - إرث الحضارة الإسلامية.

### Résumé:

Ce travail s'inscrit dans le cadre des efforts déployés pour souligner le rôle des scientifiques musulmans dans les progrès de la civilisation dans les aspects scientifiques. Peut-être, la plus grande innovation scientifique se trouve dans le domaine de la mécanique, c'est une machine hydraulique conçue par le scientifique musulman AL-JAZARI (1136-1206), qui est à la base de la science des engins dans la branche moderne de la mécanique, qui a une des applications étendues dans le domaine de la science du mouvement dans l'industrie. Pour contribuer en mettant en évidence l'invention de AL-JAZARI, nous devons mapper les lois de la physique actuellement dans la science de la mécanique.

L'étude comprenait un aspect historique du scientifique AL-JAZARI et de sa machine hydraulique, puis la perception typique de cette machine. Nous examinons ensuite la machine en incluant notamment: étude des dimensions de la machine, étude du mouvement de rotation de la machine hydraulique et l'étude du système d'engrenage de la machine hydraulique en soulignant son importance dans la transmission.

Nous obtenons les résultats suivants: en plus des lois que nous avons accomplies avec la machine hydraulique que nous croyons et espérons que ce sera un élément de base pour montrer notre patrimoine de la civilisation, la base de la science des engins bien connue avec son rôle important dans l'industrie moderne est attribué à la découverte du scientifique musulman.

AL-JAZARI. En outre, la base de la conversion du mouvement en énergie qui en dépend des pompes modernes lors du pompage de l'eau à de grands sommets repose essentiellement sur une machine hydraulique conçue par AL-JAZARI.

### Abstract:

This work falls within the framework of the efforts made to highlight the role of Muslim scientists in the progress of civilization in the scientific aspects. Perhaps, the greatest scientific innovation is found in the field of mechanics is a hydraulic machine that was designed by the Muslim scientists AL-JAZARI (1136-1206), which is the basis of gear science in the modern branch of mechanics, which have a wide applications in the field of motion science in the industry. And to contribute by highlighting the invention of AL-JAZARI, we have to map the currently laws of physics into the science of mechanics. The study included a historical aspect of the scientist AL-JAZARI and his hydraulic machine, then the typical perception of this machine. We then examine the machine physically including the following: Study of the dimensions of the machine, study of the rotational motion of hydraulic machine and study of the gear system of the hydraulic machine and highlighting its importance in the transmission. We get the following results: in addition to the laws that we accomplished to the hydraulic machine which we believe and hope it will be a building block to show our civilization heritage, the basis of well known gears science with its great role in modern industry is attributed to the discovery of the Muslim scientist.

AL-JAZARI. Also, the basis of converting the movement into energy that depend on it modern pumps when pumping water to big heights is based essentially from hydraulic machine that was designed by AL-JAZARI.

**Keywords:** Hydraulic Machine- AL-JAZARI-Heritage of Islamic Civilization.