

## Comment élever l'eau d'une rivière ? À la découverte de la pompe d'al-Jazarî

Cécile de Hosson, avec la collaboration de Loïc Chesnais et Joëlle Fourcade  
© Éditions Le Pommier, 2009

### Objectifs

Il existe des dispositifs permettant la transmission de mouvements de rotation : les roues dentées.

Le système bielle-manivelle permet la transformation de mouvements de rotation en mouvements de translation.

### Référence au programme de sciences et technologie du cycle 3 de l'école primaire

« Le monde construit par l'homme : transmission des mouvements ».

### Matériel

Bassines, eau, tuyaux souples, tés de dérivation en matière plastique, seringues, kit technologique Celda®, tiges de bois, rondelles de carton.

Cela fait bien longtemps que les sociétés humaines déploient des trésors d'imagination pour détourner de multiples manières l'eau nécessaire à l'irrigation de leurs champs. Le recours aux pompes, notamment, permet par exemple de prélever toute l'année l'eau des rivières. Celle-ci est ensuite transportée par canaux, parfois très loin de son lieu de prélèvement, vers les différentes parcelles à irriguer. L'invention des machines de pompage remonte au Moyen Âge. Elles sont le fruit de contributions de plusieurs savants de langue arabe. C'est celle d'al-Jazarî que nous proposons d'étudier avec les élèves.

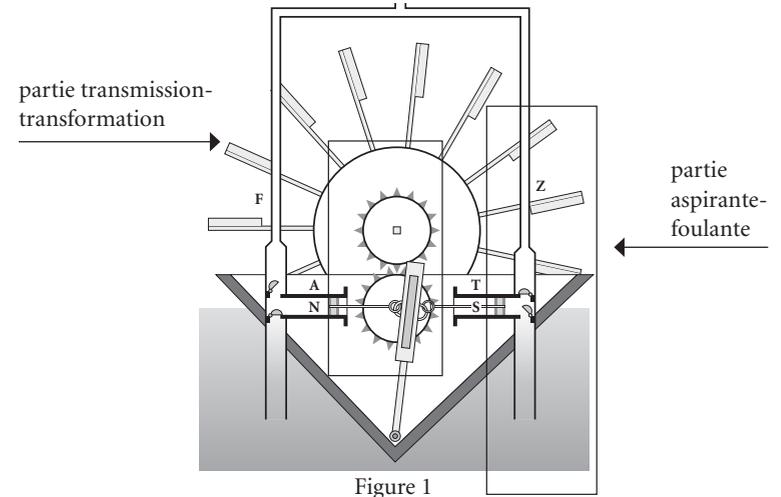


Figure 1

Le module présenté ici est structuré autour de quatre activités. La première vise l'appropriation du problème par les élèves : « Comment élever l'eau d'une rivière ? » Les deux séances suivantes ont pour but de faire découvrir aux élèves deux parties spécifiques de la pompe que nous choisissons d'étudier séparément de façon à ne pas alourdir la charge cognitive des élèves. La partie hydrostatique « aspirante/foulante » sera donc étudiée pour elle-même (activité 1, voir la figure ci-dessus), ainsi que la partie mécanique concernant la transmission et la transformation du mouvement (activité 2, voir également ci-dessus) ; la quatrième activité ayant pour but d'associer ces deux parties étudiées séparément afin de comprendre le mécanisme global de la pompe.

### Activité introductive : Exploitation du texte pour enfants

L'activité débute par la lecture du texte pour enfants. Les élèves y découvrent le problème qu'ils vont avoir à résoudre, problème autour duquel les séances vont s'articuler : « Imaginer ce que le savant al-Jazarî a pu proposer à Nabil pour arroser sa sœur Fadila même lorsqu'elle se trouve tout en haut de la berge ». Dans cette première phase, que nous appelons « activité introductive », le texte a donc pour rôle d'initier le questionnement des élèves. Il leur est demandé

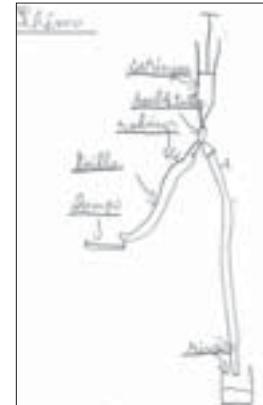
d'imaginer (de manière individuelle) un moyen d'élever l'eau d'une rivière, moyen qui pourrait ensuite servir à irriguer des champs situés en hauteur.

Le texte pour enfants contient un certain nombre d'indices qui sont autant de pistes que les élèves peuvent explorer afin de dégager les éléments leur permettant de répondre à la question posée. Le mouvement de « moulinet » des bras de Nabil les mène sur la voie des roues à aubes : certains élèves ont en tête des images de moulins dont la roue est entraînée par le courant d'une rivière. Ils comprennent que celle-ci permet l'élévation de l'eau de la rivière, mais ils peinent à concevoir la façon dont cette eau peut être récupérée avant qu'elle ne retourne à la rivière, emportée par le mouvement de la roue. Il faut donc trouver un moyen de « pousser » l'eau à l'extérieur de la roue lorsqu'elle se trouve au plus haut. Un consensus se dégage alors, résultat d'un débat collectif où chacun exprime ses idées. La construction d'une telle machine doit répondre à une double exigence : d'abord, il faudra faire monter l'eau, ensuite, il faudra la pousser. Tout cela doit se faire sans fatigue.

### Activité n° 1 : Élever l'eau par aspiration et refoulement

Les élèves ont à leur disposition des bassines remplies d'eau, des robinets, une seringue, des tuyaux souples, des tés de dérivation. Ils doivent trouver le moyen de faire passer l'eau d'un récipient posé sur le sol vers un récipient posé sur leur table. Ils constatent qu'il est possible d'élever de l'eau par aspiration<sup>1</sup> mais qu'il est ensuite impossible de recueillir cette eau dans un récipient. Un problème se pose alors : comment faire pour conserver l'eau que l'on a réussi à élever d'une certaine hauteur ? Cette difficulté nécessite d'imaginer un dispositif complémentaire : aspirer l'eau, certes, mais il faut pouvoir la récupérer. Les élèves s'emparent de ce problème technique et imaginent des solutions. L'idée d'un réservoir intermédiaire, en hauteur, est alors introduite ; c'est l'eau de ce réservoir qui sera ensuite refoulée.

Le dispositif complet imaginé par les élèves comprend les éléments suivants : un premier tuyau sur lequel est placé un robinet  $R_1$ , un té sur lequel on place la seringue, un deuxième tuyau surmonté d'un second robinet  $R_2$  (voir dessins et schémas ci-contre).

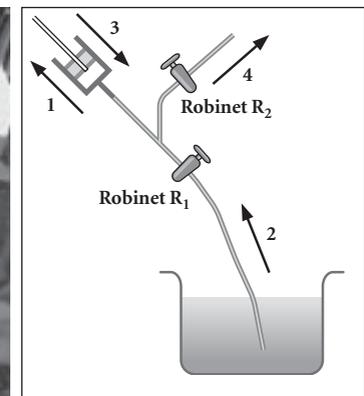


Dessin de Benjamin (CE2)



Dessin de Myriam (CE2)

Le dispositif fonctionne donc en deux étapes. D'abord, l'eau est montée dans le réservoir de la seringue par aspiration (1 et 2 dans le schéma ci-dessous) *via* un premier tuyau. Le robinet  $R_1$  est ouvert,  $R_2$  est fermé. On ferme  $R_1$ , et on ouvre  $R_2$ , puis on pousse le piston de la seringue (3) de façon à refouler l'eau vers le lieu souhaité (4).



À la fin de l'activité, les élèves comprennent que la quantité d'eau élevée dépend du mouvement de va-et-vient effectué par le piston de la seringue. Il s'agit donc maintenant de trouver un moyen d'entretenir ce mouvement sans intervention humaine.

## Activité n° 2 : Transmettre et transformer un mouvement

L'activité précédente avait pour objet d'élever l'eau d'une bassine. Or, dans le texte pour enfants, il est question de l'eau d'une rivière. Celle-ci est en mouvement, contrairement à l'eau de la bassine, et ce mouvement permet de faire tourner des roues. Cette idée n'a d'ailleurs pas échappé aux élèves lors de la lecture du texte pour enfants. Elle est exploitée dans la suite de la séquence.

### Étape 1 : Transformer un mouvement de rotation en un mouvement de va-et-vient

Après avoir rappelé aux élèves le problème laissé en suspens à l'issue de l'activité précédente (trouver un moyen d'entretenir le mouvement de va-et-vient du piston sans intervention humaine), l'enseignant revient sur l'idée de la roue à aubes évoquée par certains. Il leur explique qu'il est possible d'utiliser le mouvement d'une roue pour créer un mouvement de va-et-vient. Mais comment faire ? Pour répondre à cette question, les élèves disposent d'une tige de bois au bout de laquelle se trouve une rondelle de carton adaptée à la section du réservoir de la seringue ; cette tige remplace le piston, qui présente l'inconvénient de glisser difficilement dans le réservoir de la seringue. Ils disposent également d'une roue dentée et d'un morceau de pâte fixante. Cette étape nécessite un moment de recherche pendant lequel l'intervention du maître est déterminante. Pour obtenir le mouvement recherché, il faut fixer la tige sur la roue elle-même (voir la figure ci-dessous, à gauche). Ils découvrent ainsi le système « bielle-manivelle » (voir la figure ci-dessous, à droite).



Le mouvement de va-et-vient de la tige de bois est obtenu par un système bielle-manivelle : en faisant tourner la roue (rotation), la tige se déplace d'avant en arrière (translation)

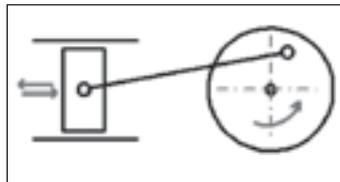
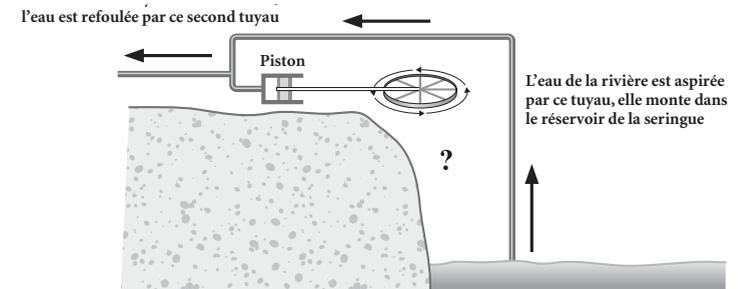


Schéma du système bielle-manivelle

### Étape 2 : Changer de plan de rotation

Nous avons désormais les moyens d'entretenir le mouvement de va-et-vient du piston sans utiliser la force de l'homme et ce, grâce au mouvement de rotation d'une roue. Toutefois, un nouveau problème apparaît : cette roue reliée à la tige de bois doit être située à proximité de la tige, en altitude et dans le même plan, un plan horizontal. Ce n'est pas elle qui va se trouver directement en contact avec l'eau de la rivière. Le schéma de la figure ci-dessous en explique les raisons. Il est reproduit au tableau.



Ici, la roue n'est plus verticale (voir les deux illustrations précédentes), mais horizontale. De la même façon que dans l'exemple précédent, le mouvement de rotation de la roue horizontale provoque le mouvement de va-et-vient du piston. Il est maintenant nécessaire d'ajouter une deuxième roue, cette fois-ci verticale. C'est elle qui entraînera la roue horizontale grâce au courant de la rivière.

Pour entraîner la roue horizontale, il faut une deuxième roue, placée verticalement et suffisamment grande pour être en contact avec l'eau. C'est elle qui sera entraînée par le courant. Elle sera appelée « roue menante ». Les élèves découvrent par ce biais que deux roues dentées peuvent s'entraîner l'une l'autre dans un mouvement de rotation, même lorsqu'elles ne sont pas situées dans le même plan (voir la photo page suivante). Ils réalisent le montage grâce au kit Celda®. Une première roue disposée verticalement est entraînée par le courant dans un mouvement de rotation. Elle entraîne une seconde roue disposée horizontalement dans un mouvement identique. Cette dernière joue le rôle de manivelle, elle entraîne la tige de bois dans un mouvement de va-et-vient qui permet l'aspiration puis le refoulement de l'eau à élever.



Le mouvement de rotation de la roue horizontale (roue-manivelle) est obtenu grâce à celui de la roue verticale (roue menante)

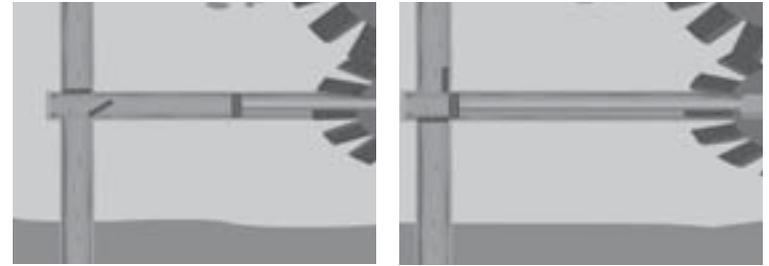
À l'issue de ces deux activités, les élèves disposent d'une solution pour répondre au problème de l'irrigation des champs. Reste à savoir si celle-ci est proche de celle imaginée par le savant al-Jazarî.

### **Activité n° 3 :** **Comprendre le fonctionnement de la pompe d'al-Jazarî**

L'animation « La pompe à eau d'al-Jazarî » présentée sur le site du projet permet aux élèves de découvrir et de comprendre la solution proposée par le savant al-Jazarî au <sup>XI</sup><sup>e</sup> siècle et de la confronter à leur propre solution. L'objectif de cette activité est de percevoir le principe général de fonctionnement de la pompe d'al-Jazarî (en particulier le rôle des clapets et le principe de la double aspiration) et d'amener les élèves à décrire les différents organes de la pompe ainsi que leur rôle dans l'acheminement de l'eau de la rivière.

#### **Le rôle des clapets**

La pompe inventée par al-Jazarî est composée d'un piston se déplaçant dans un cylindre et de clapets permettant l'entrée et la sortie du fluide dans la pompe – ils remplacent les robinets utilisés par les élèves.



Sur cet extrait de l'animation on voit le piston animé par le système bielle-manivelle. Lorsque la bielle part vers l'arrière (à gauche), le premier clapet s'ouvre et laisse passer l'eau de la rivière, qui est aspirée. Le mouvement vers l'avant de la bielle repousse le piston, le clapet se ferme (à droite). L'eau est alors repoussée, le deuxième clapet s'ouvre afin de laisser passer l'eau qui s'élève dans la conduite supérieure, sous la poussée du piston

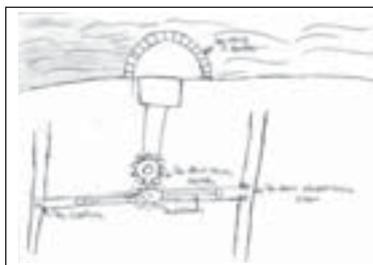
Lorsque le piston se déplace vers la droite (figure de gauche), il se crée une dépression dans le cylindre, le clapet va monter sous la pression du fluide à l'aspiration et permettre le remplissage du cylindre. Lorsque le piston repart vers la gauche, le fluide du cylindre est mis en pression, le clapet d'aspiration est alors plaqué sur son siège interdisant le retour du fluide vers l'aspiration. Le clapet de refoulement va se soulever sous l'effet de la pression et permettre l'évacuation du fluide vers la conduite de refoulement (figure de droite). Le déplacement du piston est obtenu grâce au mouvement de rotation d'une roue dentée (la roue-manivelle) entraînée par une série de plusieurs autres roues dont la dernière, plongée dans l'eau de la rivière, est entraînée par le courant.

#### **Étape 2 : La double aspiration**

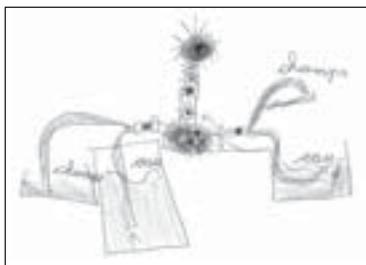
En fait, la pompe d'al-Jazarî est constituée de deux systèmes d'aspiration identiques : pendant qu'un piston aspire l'eau d'un côté de la roue-manivelle, un second piston, situé de l'autre côté de la roue-manivelle, repousse l'eau contenue dans le réservoir. L'intérêt de cet ingénieux dispositif est discuté en classe.

### Étape 3 : Le nombre de roues

Une autre différence apparaît, qui concerne le nombre de roues. Dans la pompe d'al-Jazarî, la roue verticale entraînée par la rivière n'est pas directement reliée à la roue-manivelle horizontale car ces deux roues se trouvent assez éloignées l'une de l'autre. Pour les relier, al-Jazarî utilise une tige et une petite roue verticale supplémentaire. Cette petite roue est engrainée dans la roue-manivelle horizontale et reliée à la grande roue par l'intermédiaire de la tige fixée au centre de ces deux roues : la grande roue verticale tourne sous l'effet du courant de la rivière, elle entraîne avec elle la tige qui fait tourner la petite roue verticale qui à son tour fait tourner la roue-manivelle horizontale. Au final, les élèves n'ont pas de mal à retrouver les différentes parties de la pompe et leur rôle dans l'acheminement de l'eau, comme en témoignent les dessins ci-après :



Dessin de Marcelle (CM2)



Dessin de Kevin (CE2)

Cette série d'activités se poursuit par la réalisation en classe de la pompe d'al-Jazarî avec l'aide de l'enseignant. On y retrouve la double aspiration, l'assemblage d'une roue verticale (la roue entraînée par le courant) avec plusieurs roues horizontales. Les clapets sont remplacés par les robinets utilisés lors de la première activité, et les pistons des seringues par les tiges de bois de la deuxième. La pompe ainsi réalisée joue davantage le rôle de modèle et présente les limites suivantes :

- la roue menante n'étant pas en contact direct avec de l'eau en mouvement, son mouvement est obtenu « à la main » ;
- les rondelles des pistons n'étant pas parfaitement ajustées au réservoir des seringues, l'aspiration n'est pas parfaite et la quantité d'eau récupérée demeure faible ;

– les robinets n'ayant pas été remplacés par des valves, la manipulation de la pompe nécessite l'intervention de plusieurs personnes.

Ces inconvénients et les contraintes qui leur sont associées (pas de rivière dans la classe, pas de valves, etc.) sont discutées en classe et assumées par l'ensemble des élèves. La construction devient un support concret de raisonnement et l'occasion pour tous d'associer la partie « hydrostatique » de la pompe à la partie « mécanique ». Elle permet également aux élèves d'explorer d'autres systèmes d'élévation et d'acheminement d'eau (vis d'Archimède, pompe à godets, etc.) par le biais d'une activité documentaire et de les comparer à la pompe d'al-Jazarî.



Détail de la pompe réalisée en classe

Les élèves sont maintenant en mesure de rédiger une lettre à Nabil et à Fadila, dans laquelle la machine qu'ils sont parvenus à concevoir sera minutieusement décrite. Le problème de l'élévation de l'eau de la rivière leur a permis d'approcher de manière concrète l'une des plus belles inventions techniques de l'histoire des sciences arabes.

#### Note

1. On peut élever de l'eau par aspiration à l'aide d'une seringue à piston et d'un tuyau (ou d'une paille). Mais attention, on ne peut pas élever l'eau jusqu'à une hauteur infinie. Au-delà de 10 mètres de hauteur, la pression atmosphérique exercée à la surface de l'eau n'est plus suffisante pour compenser la pression exercée par la colonne d'eau dans le tuyau (ou la paille).