

Un TP qui ne manque pas d'air (première partie)

YANN LAHELLEC, BENOÎT PEREZ, STÉPHANE PIGOT^[1]

Dans la continuité des précédents numéros de Technologie, les auteurs présentent leur réflexion sur l'utilisation des AMMI et des outils associés pour démontrer leur efficacité pédagogique : meilleure répartition des savoirs, gain de temps et diminution du nombre de questions pendant l'activité.

Cet article ne se limite pas à une simple description du contenu des séances proposées, mais explore la stratégie pédagogique mise en place.

Cette première partie dévoile le contenu de la première activité : la modélisation du mécanisme. Étape clé de l'étude des comportements mécaniques, elle s'inscrit ici dans une démarche de résolution d'un problème technique.

La deuxième partie abordera l'aspect énergétique des mécanismes et mettra en évidence la notion de rendement d'une chaîne énergétique.

La méthodologie de conception du TP

Ce TP s'adresse à des classes de première et terminale STI. Il a été construit suivant une structure définie et détaillée par le *Guide méthodologique de conception d'un TP de construction mécanique* de Michel Aublin et Dominique Taraud [1].

Toutes les ressources techniques et pédagogiques sont données au moyen d'une interface informatique sous forme de textes, d'images mais aussi d'animations facilitant considérablement l'observation.

Le logiciel de CAO associé à un module de calcul permet de simuler le fonctionnement du mécanisme et d'observer les lois de mouvement afin d'en tirer des conclusions.

Le référentiel et la stratégie pédagogique

● Repérage des points du référentiel

A3 – Construction

1. Approche fonctionnelle des constituants des chaînes cinématiques
- 1.3. Transmetteurs et transformateurs de mouvements
Transmission par engrenage, pignon-crémaillère
Mécanisme bielle-manivelle

● Formalisation des centres d'intérêt [2]

CI 6 : la transformation mécanique du mouvement

Mots-clés

équipement didactique, lycée technologique, mécanique, modélisation, prébac, travaux pratiques

● Identification du modèle d'apprentissage

Il s'agit d'un modèle de type constructiviste. L'élève va apprendre par une méthode à caractère inductif.

● Stratégie pédagogique

L'élève « rencontre » l'objet de l'étude, ici la transformation de mouvement, au travers de la résolution d'une situation problème.

Ce TP s'inscrit dans une série de trois [3] portant sur le même centre d'intérêt.

Nous étudions la transformation de mouvement par système bielle-manivelle, came et système vis-écrou. Les supports choisis sont deux compresseurs, un moulinet de pêche et un actionneur de serrure.

Le professeur :

- formalise et énonce l'objet de l'étude découvert par l'élève ;
- apporte les savoirs méthodologiques.

L'élève :

- met en œuvre les savoirs et les savoir-faire cognitifs et méthodologiques ;
- consolide les savoirs et savoir-faire associés dans un contexte nouveau.

Les prérequis

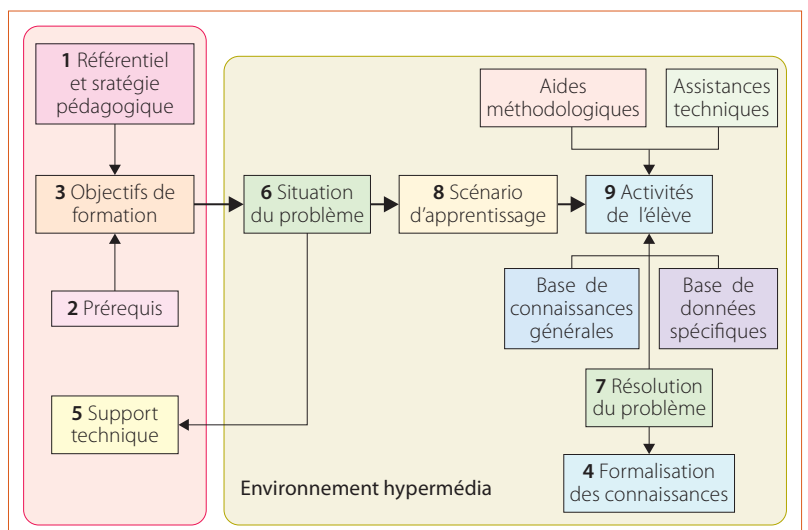
A1 – Mécanique

1.1. Modélisation des liaisons

A2 – Construction

3.2. Outils de recherche et de représentation des solutions en phase d'avant projet.

Réalisation d'un schéma cinématique



[1] La structure du TP

[1] Professeurs de construction mécanique au lycée Jean-Jaurès d'Argenteuil (95). Courriels : yann.lahellec@ac-versailles.fr ; benoit.perez@ac-versailles.fr ; stephane.pigot@ac-montpellier.fr

	TP1	Technico-économiques		Fonctionnels et de fonctionnement		Représentation du réel			Comportement mécanique				
		CI 10	CI 11	CI 12	CI 13	CI 14	CI 15	CI 16	CI 17	CI 18	CI 19	CI 20	
		Cahier des charges fonctionnels	Compétitivité des produits industriels	Outils d'analyse et de description	Modélisation et caractérisation des liaisons mécaniques	Perception du réel	Techniques et outils de représentation	Définition de produit	Modélisation des actions mécaniques	Comportement statique des mécanismes	Comportement cinématique des mécanismes	Comportement dynamique et énergétique des mécanismes	Comportement des matériaux
LE RÉEL TECHNOLOGIQUE	CI 1	Les assemblages (encastrement)											
	CI 2	Les guidages en rotation											
	CI 3	Les guidages en translation											
	CI 4	Étanchéité et lubrification											
	CI 5	Transmission du mouvement											
	CI 6	Transformation du mouvement											
	CI 7	Motorisation des systèmes (méca., pneu., élec., hydrau.)											
	CI 8	Les matériaux											
	CI 9	La relation produit-procédé-matériau											

2 La matrice des centres d'intérêts

Les objectifs de formation

● Objectif principal

Analyse d'un système bielle-manivelle

● Objectifs intermédiaires

Modélisation d'un assemblage

Élaboration d'un schéma cinématique

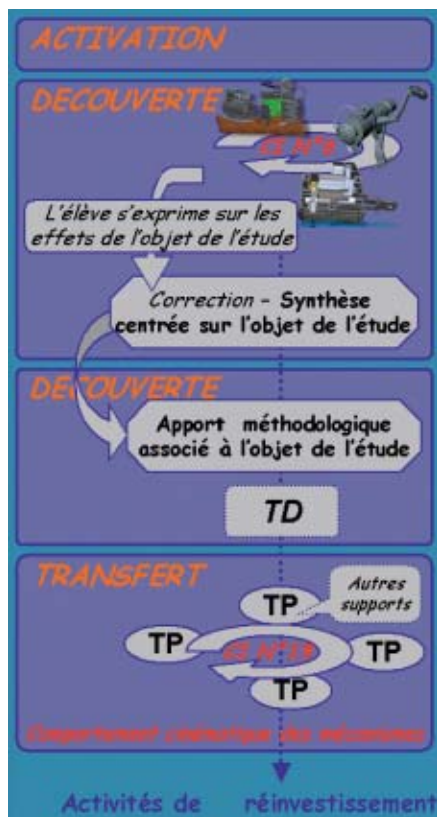
● Les connaissances à retenir et à formaliser

Vocabulaire technique associé au système bielle-manivelle

Schéma cinématique associé à cette transformation de mouvement

Aspect cinématique : graphe du mouvement

Aspect cinématique : graphe du mouvement



3 La progression

SYSTEME BIELLE - MANIVELLE

SCÉNARIO DE VERRILLES

1 ASPECT TECHNOLOGIQUE.

Le système bielle manivelle comporte un vocabulaire spécifique pour les différentes pièces le constituant :

- 1 : *Piston*
- 2 : *Bielle*
- 3 : *Manivelle*

2 ASPECT CINEMATIQUE.

Ce système mécanique permet de transformer :

- un mouvement de *rotation* en un mouvement de *translation*,
- ou bien
- un mouvement de *translation* en un mouvement de *rotation*

1 - SCHEMA CINEMATIQUE ASSOCIE :

2 - GRAPHE DES DEPLACEMENTS :

Cette courbe des positions est une *sinusoïde*.

Fiche de Formalisation

4 La fiche de formalisation



6 Les deux embiellages



7 La compression des gaz : les clapets

Équipement	Embouts de gonflage Poignée de transport Indicateur de pression Fiche allume-cigare Indicateur de pression Protection automatique en cas de surchauffe du moteur	Tuyau gainé de 50 cm 3 embouts différents Fiche allume-cigare Indicateur de pression
Prix	Grande distribution : 54 €	Catalogue Conrad : 14 €
Embiellage	Bielle jupe courte et piston monobloc segmentation téflon	Piston jupe longue articulé en pied de bielle
Compression de l'air	Clapet d'admission sur le piston et clapet de refoulement sur la culasse La circulation d'air refroidit le moteur, donnant un meilleur rendement	Clapets d'admission et de refoulement sur la culasse
Actionneur	Guidage du rotor par éléments roulants	Guidage en rotation par contact direct

5 Les deux compresseurs utilisés

La formalisation des connaissances

La fiche de formalisation 4 est guidée par l'objectif de la séance, le CI 6. Elle synthétise les savoirs génériques transférables à d'autres études.

Dans l'interface du TP, des zones de texte dynamiques renvoient à ce document, qui sera imprimé par l'élève pour clôturer la séance de TP. Nous y retrouvons tous les savoirs nouveaux associés aux compétences abordées dans le TP.

Les supports techniques

Les produits retenus sont deux compresseurs monocylindres 12 V de voiture, d'utilisation universelle, délivrant une pression de 7 bars 5 6 7 8. Leur coût réduit permet de les multiplier dans le laboratoire, et leur côté grand public renforce l'intérêt des élèves. D'autre part, ils fonctionnent sans huile, ce qui les rend facilement démontables.

La réalisation du TP nécessite un matériel de mesure particulier, regroupé dans un boîtier didactisé 9 : une alimentation 12 V/20 A, un pupitre comprenant un ampèremètre et un voltmètre, un chronomètre, les deux compresseurs munis de fiches de sécurité, une roue de VTT.

La situation problème

Les constructeurs annoncent des pressions maximales d'utilisation de 7 bars. Un des deux compresseurs est incapable de gonfler la roue de VTT à cette pression.

Le scénario d'apprentissage

L'expérimentation est nécessaire à tout apprentissage, et il convient de proposer à l'élève des activités dans lesquelles il devient acteur de sa formation. Les travaux

pratiques facilitent l'acquisition des savoirs, les AMMI donnent à l'élève liberté d'action et autonomie ; associer les uns et les autres permet de dynamiser la séquence de travail, et donc d'accroître une motivation déjà engendrée — espérons-le — par l'intérêt du problème à résoudre.

Le TP proposé exploite donc toutes les possibilités d'utilisation des AMMI. Notre scénario d'apprentissage s'appuie sur un parcours mixte mêlant activités libres et activités guidées privilégiant la concertation avec le professeur.



8 Les moteurs électriques

Les ressources

Elles accompagnent l'élève tout au long du TP en lui proposant, s'il en ressent le besoin, des informations, des explications ou des méthodes afin de mener à bien les activités proposées. Certaines peuvent être développées de façon généraliste afin d'être utilisables pour d'autres TP ; le travail investi dans leur création prend alors tous son sens.



9 Le banc de mesure didactisé



Quatre types de ressources sont proposées à l'élève **10** :

● **Les aides méthodologiques**

Elles guident l'élève, si nécessaire, dans la réalisation d'une activité. On trouve dans notre TP une ressource de ce type pour caractériser une liaison **18**.

● **Les assistances techniques**

Elles sont là pour assister l'élève dans l'utilisation d'un matériel, d'un outil, d'un logiciel... On trouve dans notre TP les ressources suivantes :

- Les branchements du banc didactisé **13**
- L'utilisation du chronomètre
- Le didacticiel du logiciel Motion Inventor **21**

● **Les bases de données spécifiques**

Elles sont relatives au support technique utilisé (mécanisme) et aux objectifs de formation visés (centre d'intérêt). On trouve dans notre TP les ressources suivantes :

- Les maquettes numériques des deux compresseurs
- Les nomenclatures interactives 2D et 3D **11**
- Les fiches techniques des deux compresseurs
- Les vidéos de fonctionnement des deux compresseurs

● **Les bases de connaissances générales**

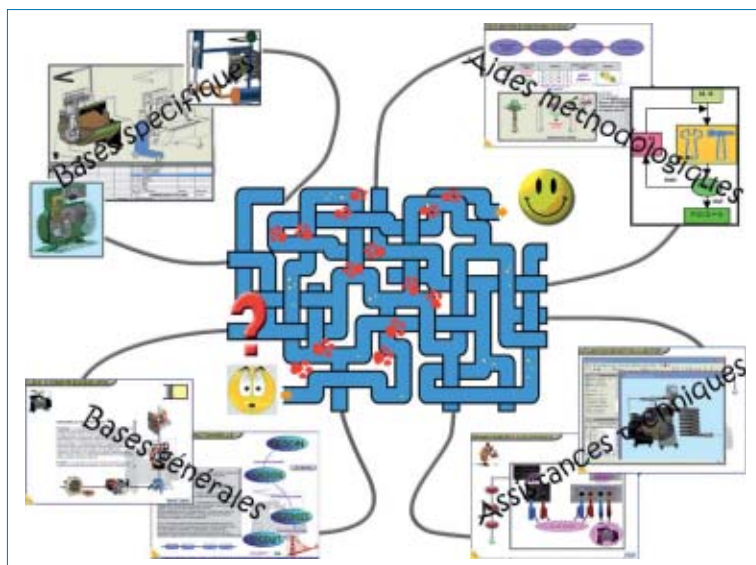
Ces ressources ciblent la matière enseignée ainsi que toutes celles qui s'y rapportent. Elles réunissent toutes les informations techniques et scientifiques en rapport avec le niveau de formation visé. Elles permettent également à l'élève motivé d'enrichir sa culture. On trouve dans notre TP les ressources suivantes :

- Une base de données sur les différents types de compresseurs **14**
- Une base de données sur les outils d'analyse fonctionnelle **12**
- Le principe de fonctionnement d'un compresseur (compression) **16**
- Une base de données sur les transformations de mouvement

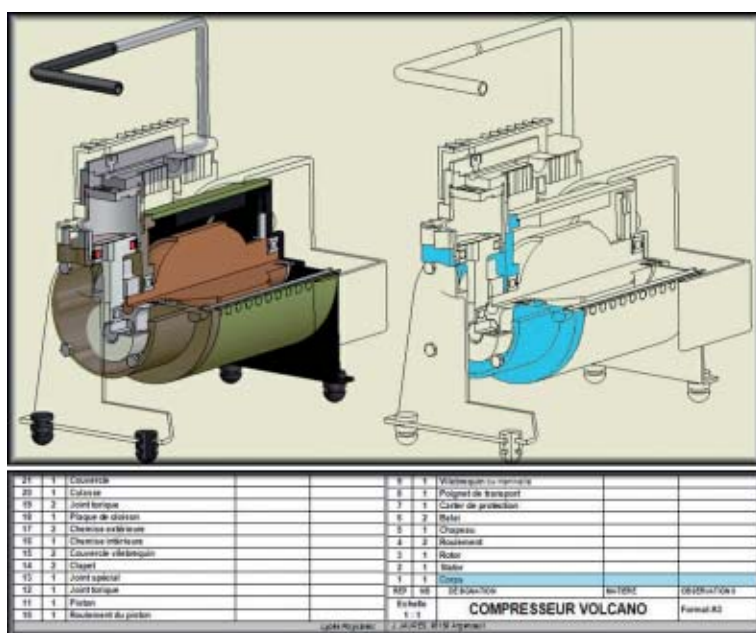
Nous reviendrons par la suite sur les différentes ressources proposées en fonction du rôle qu'elles ont dans la résolution des activités. Il est évident que le travail de création de ces ressources a été très important, mais cet investissement en temps sera vite amorti par des utilisations ultérieures. En effet, on pourra les exploiter dans d'autres TP, mais également en illustration d'un cours ou d'une correction d'un TD, le côté visuel apportant un plus pour certains élèves.

Le scénario des activités

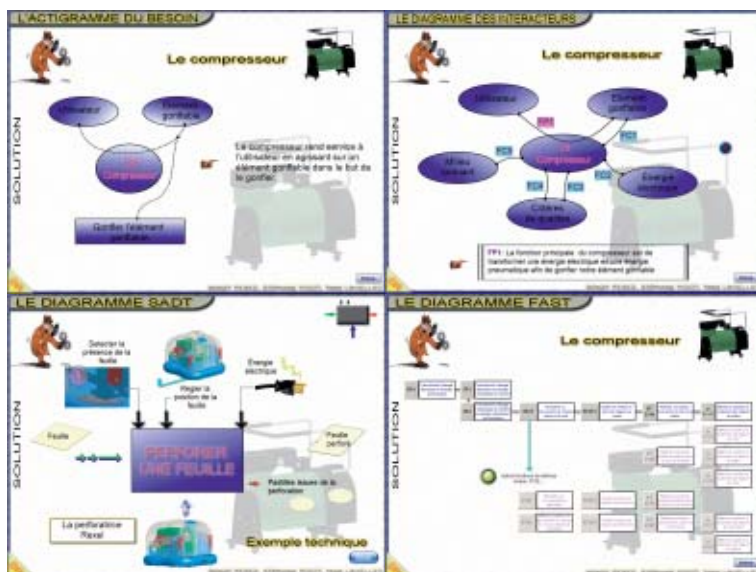
Cinq activités sont proposées dans le TP. Elles suivent un cheminement logique, afin d'amener l'élève à s'approprier le support technique et à s'intéresser à la problématique du TP. Des activités libres seront mêlées à d'autres guidées pour développer l'esprit



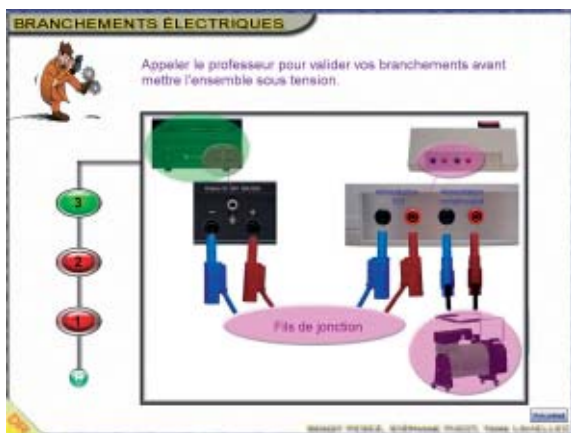
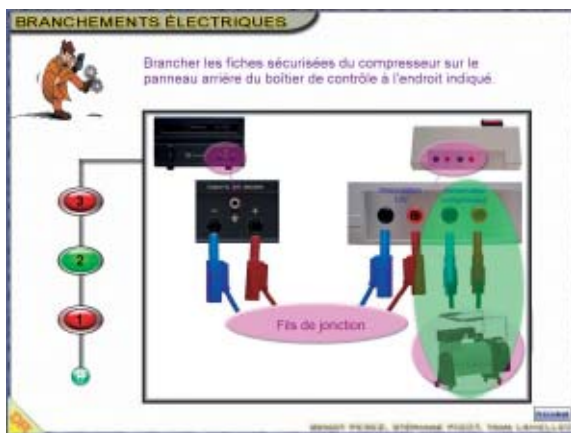
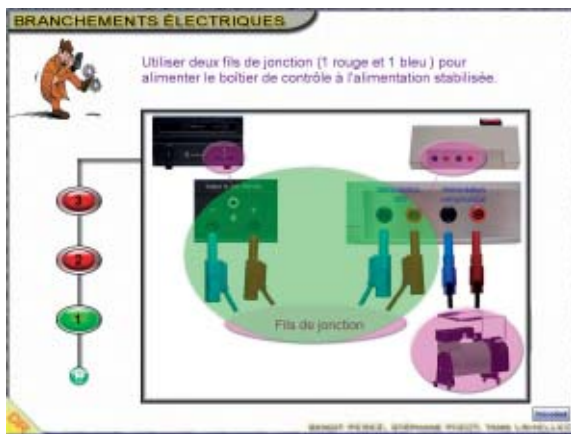
10 Les différentes ressources du TP



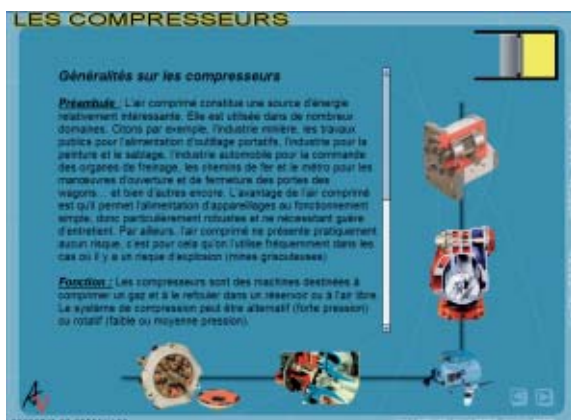
11 Les nomenclatures interactives 2D et 3D



12 La ressource généraliste d'analyse fonctionnelle



13 Les branchements du banc didactisé



14 La ressource sur la typologie des compresseurs

d'initiative de l'élève. Le plus délicat est de doser les deux en proposant un niveau de guidance adapté à chaque type d'élèves.

Les activités

L'activité 1: l'analyse fonctionnelle

Cette activité va permettre à l'élève de prendre connaissance des documents techniques liés à la résolution de l'activité afin de découvrir le système technique.

Il doit compléter un actigramme (du type SADT) de niveau A-0. Pourquoi cette activité? Son objectif est double :

- d'une part, la consultation du dossier technique est indispensable lorsque l'on découvre un mécanisme pour la première fois ;
- d'autre part, l'élève va chercher la matière d'œuvre sortante associée à d'éventuelles pertes – ce qui introduit le second TP proposé (étude énergétique – notion de rendement). Quelles sont ces pertes? D'où viennent-elles? Comment les quantifier? C'est à toutes ces questions que nous allons tenter d'amener l'élève à répondre à travers les deux TP proposés.

Cette activité a donc une grande importance ; elle permet à l'élève de se familiariser avec le mécanisme et de définir sa fonction globale ainsi que les éléments extérieurs mis en œuvre. De plus, elle est centrée sur le phénomène de perte, qui s'avérera déterminant dans la suite de l'étude.

Quels sont les éléments mis à la disposition de l'élève? Ce sont principalement des AMMI. Au niveau du dossier technique, ce type de ressources fait «vivre» le mécanisme. Consulter des pages composées de photos et d'animations est toujours plus attractif pour l'élève, qui reste libre de choisir les éléments qu'il doit visionner pour répondre à la question posée. Il pourra satisfaire son éventuelle curiosité en consultant par exemple les deux nomenclatures interactives disponibles, celle en 2D et celle en 3D **11**.

Après cette phase de découverte, l'élève peut se concentrer sur la seconde partie de l'activité : l'analyse fonctionnelle.

La ressource **12**, complète – c'est-à-dire qu'elle propose tous les outils d'analyse : SADT, FAST... – et généraliste, est de type AMMI. L'analyse fonctionnelle est une notion assez abstraite que l'élève a du mal à cerner ; une AMMI, en proposant des illustrations, des possibilités de visualisation et de simulation, rend l'abstrait concret.

Une AMMI peut guider l'élève afin d'augmenter son autonomie et sa liberté d'action, ce qui permet à l'enseignant de gérer au mieux le temps d'écoute et de vérification, essentiel dans tout apprentissage. Si l'élève comprend seul, tant mieux, son apprentissage n'en sera que meilleur ; s'il a des difficultés, c'est l'occasion pour le professeur d'entamer un dialogue pour trouver une remédiation. L'AMMI peut en être la base.

Dans tous les cas, l'élève devra terminer cette activité avec une certaine motivation, créée par la nature de la problématique et l'envie de la résoudre. Le pari est risqué, d'où l'intérêt de bien choisir les supports du TP.

L'activité 2: les performances des compresseurs

L'utilisation des AMMI pouvant engendrer une tendance à la passivité, une activité de manipulation est indispensable. Essence même de la pédagogie inductive, cette étape favorise l'apprentissage selon le principe du « j'ai fait, je retiens ».

Cette activité va donc permettre à l'élève de faire fonctionner le système technique dans son contexte d'utilisation. C'est là un des avantages d'un système grand public simple et accessible, que l'élève peut être amené à utiliser dans sa vie de tous les jours — bien plus motivant que des « usines à gaz » sur plans papier.

Dans cette phase, l'élève manipule un système sécurisé. Les étapes de branchement sont détaillées dans une aide méthodologique [13](#). Une fois les branchements effectués, un contrôle par l'enseignant est indispensable pour qu'il n'y ait pas de risques de dommages pour les appareils de mesure.

L'élève peut à présent réaliser la manipulation demandée. Elle est en rapport direct avec la problématique du TP, puisqu'elle propose de démontrer que l'un des compresseurs ne peut pas gonfler une roue de vélo à la pression de 7 bars — pourtant compatible avec les données constructeur. Durant la manipulation, on demande à l'élève d'observer le comportement de chaque compresseur et de noter les facteurs (intensité, tension, bruit, vibrations, chaleur, etc.) qui selon lui influent sur son fonctionnement.

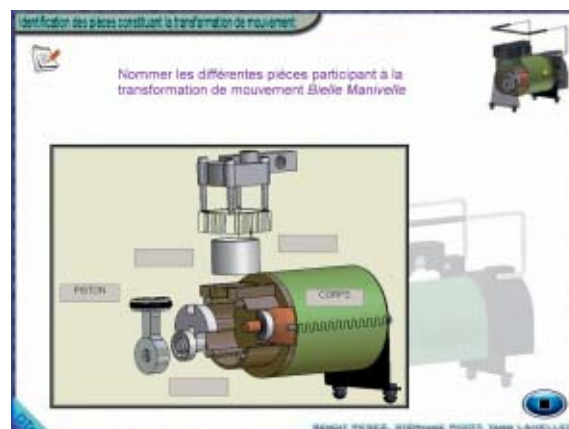
L'utilisation de deux compresseurs de gammes différentes permet à l'élève d'enrichir sa culture technologique et de comparer les solutions techniques employées par les deux constructeurs.

La problématique est donc confirmée; la suite du TP va permettre à l'élève de comprendre pourquoi.

L'activité 3: l'étude technologique

L'élève identifie la famille des deux compresseurs à partir des observations faites sur le support didactisé, sur les vidéos de fonctionnement du modèle 3D, sur les nomenclatures interactives, et d'une ressource multimédia sur la typologie des compresseurs [14](#). Généraliste (pouvant être utilisée dans le cadre d'un autre travail), cette dernière présente un exemple industriel ainsi qu'une animation pour chaque type de compresseurs (sur la figure [14](#), les compresseurs à pistons radiaux). L'élève curieux pourra y revenir afin d'enrichir sa culture technologique.

Il doit ensuite identifier les pièces qui participent à la transformation de mouvement donnant la translation au piston. Pour cela, il dispose d'une aide sous forme



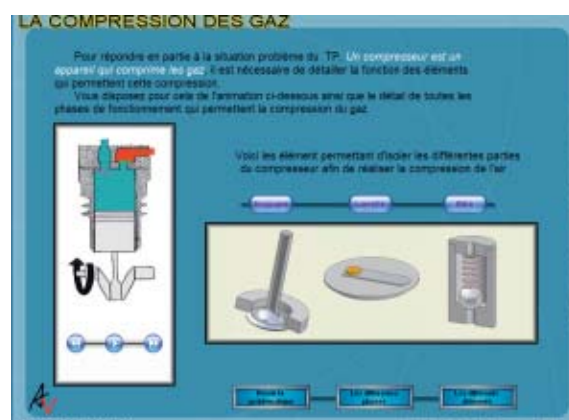
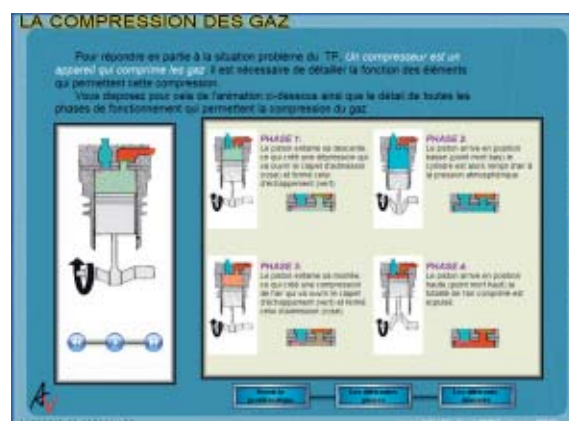
13 Un document réponse interactif avec des zones de saisie

d'animation sur les transformations de mouvement. Le centre d'intérêt visé est dévoilé: la transformation de mouvement bielle-manivelle.

L'utilisation combinée du réel, du modèle 3D et du plan 2D lui permet d'identifier les constituants de la chaîne cinématique créant cette transformation.

Des zones de texte dynamiques introduisant le vocabulaire associé (piston, bielle-manivelle) compléteront la fiche de formalisation [15](#).

Le concept de corrigé dynamique, intégré ici au sein même du TP, participe activement à la formation. L'enseignant n'intervient pas sur cette partie de l'activité; si l'élève ne remplit pas correctement les zones dynamiques, il est directement orienté sur une page



14 La ressource sur la compression des gaz

qui lui propose de (re)consulter les documents utiles à la formulation des bonnes réponses.

La cinématique des compresseurs est à présent acquise par les élèves ; nous pouvons nous intéresser à la compression des gaz.

Une ressource multimédia en détail les phases à travers une animation, et présente les éléments qui rendent étanche la chambre de compression de chacun des deux compresseurs 16. D'aspects analogues, ces derniers n'utilisent pas les mêmes solutions : l'un emploie uniquement des lamelles alors que l'autre mélange bille et lamelle.

L'élève doit compléter une fiche dynamique 17 pour chaque compresseur afin d'identifier les différentes phases définies dans la ressource précédente. Il doit reconnaître et valider chaque phase ainsi que les éléments d'étanchéité (clapet) et placer des flèches qui marquent le passage de l'air et son état (comprimé ou pas).

Cette activité est l'occasion de comparer les solutions des deux compresseurs. Un « appel professeur » est activé dans cette partie de l'activité ; c'est un moment privilégié de dialogue entre le professeur et l'élève, instaurant un jeu de questions-réponses ouvertes ayant comme point de départ la problématique du TP et les informations que l'élève a retenues de l'activité.

L'activité 4 : le schéma cinématique

Le schéma cinématique est un outil de représentation permettant, à notre niveau (prébac), une analyse du fonctionnement d'un mécanisme existant. L'intérêt majeur de la schématisation est de simplifier le mécanisme pour n'en conserver que le modèle cinématique. Dans notre cas, elle met en évidence le système de transformation de mouvement employé dans les deux compresseurs étudiés.

L'élaboration complète du schéma cinématique nous paraissant trop complexe, nous nous concentrerons pour cette activité sur la modélisation cinématique d'une liaison (la liaison piston-chemise de chaque compresseur). Pour la réaliser, l'élève peut mettre en œuvre les trois moyens classiques de modélisation :

- La manipulation de l'objet réel
- La lecture de plans 2D
- La manipulation du modèle 3D

Cela permet à l'élève une approche multidirectionnelle aboutissant à une modélisation cinématique suffisamment proche du réel.

Dans un premier temps, l'élève justifie la modélisation cinématique choisie pour chaque liaison ; il dispose pour cela d'une AMMI lui présentant la démarche à suivre 18.

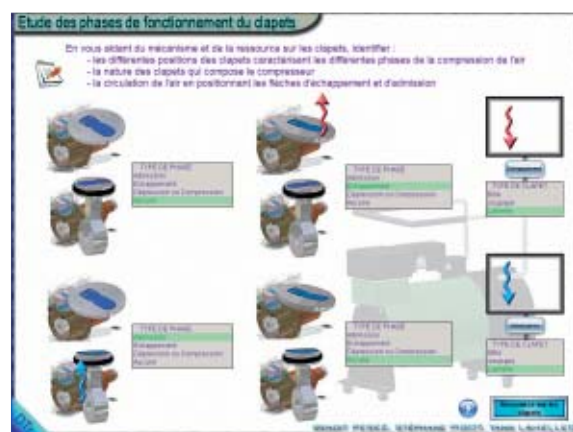
L'identification des différentes surfaces fonctionnelles participant à réalisation de chaque liaison se fait par un coloriage interactif, permettant un gain de temps car modifiable 19.

L'élève complète ensuite le schéma cinématique plan du système bielle-manivelle dans deux positions

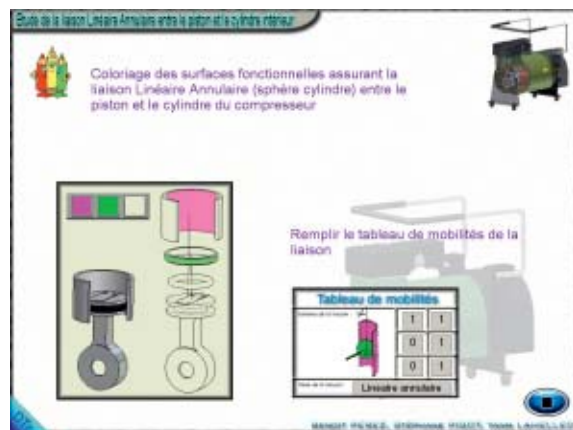
différentes (point mort haut et point mort bas) afin de préparer la mise en évidence de la course.

Cet aller-retour entre les trois moyens de modélisation met en évidence l'importance de la prise en compte de caractéristiques dimensionnelles lors d'une modélisation cinématique. En effet, les surfaces fonctionnelles participant aux deux liaisons sont de même nature, et les modèles cinématiques retenus sont différents.

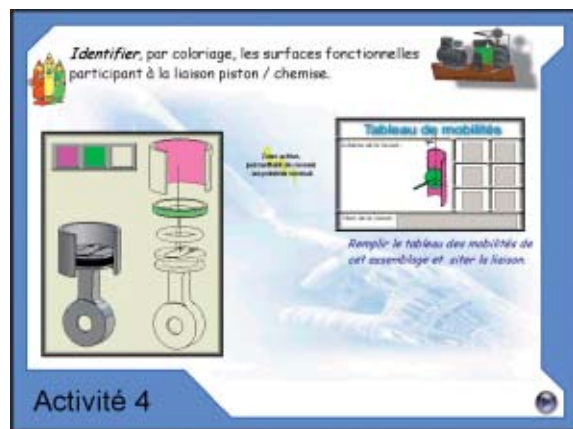
De plus, les conditions géométriques d'un guidage reposent en partie sur le rapport longueur de guidage/



17 Le document réponse sur la circulation de l'air



18 La détermination du modèle cinématique d'une liaison

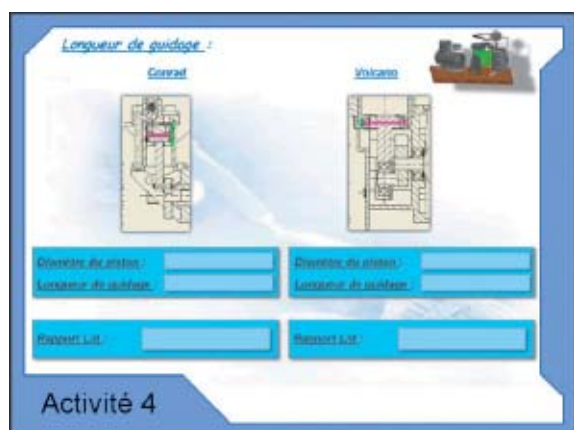


19 Le document réponse sur la liaison

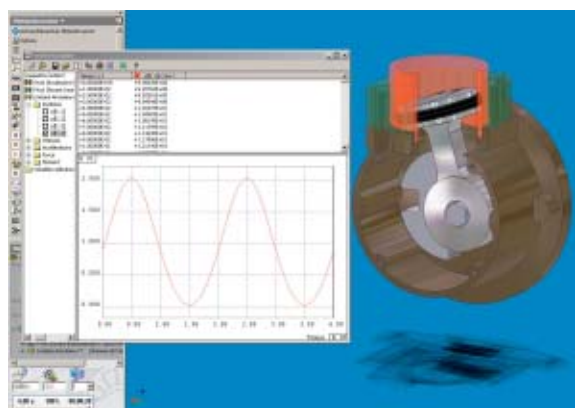
diamètre du guidage (L/D). La longueur de guidage est un facteur prépondérant, il est donc important d'aborder cette notion, et nous profitons de ces deux cas concrets pour l'illustrer [20](#).

L'activité 5 : l'estimation du débit théorique

La manipulation du réel est une étape essentielle dans une démarche pédagogique de type inductif. Elle favorise la réflexion, la compréhension et l'acquisition par l'élève des connaissances mises en jeu.



[20](#) Le document réponse sur la longueur de guidage



[21](#) Le didacticiel d'utilisation de Motion Inventor



[22](#) Le document réponse sur le graphe de déplacement

► Pour en savoir plus

Le site suivant donne la méthodologie de création d'un TP telle qu'elle a été présentée par Dominique Petrella lors d'un séminaire aux Journées académiques de décembre 2003 et janvier 2004 : www.ac-versailles.fr/pedagogi/sti/ressources/constr/cons_sem1.htm

L'objectif de cette activité est la mise en place par l'élève d'une démarche libre afin de vérifier une caractéristique constructeur (débit théorique). L'élève devra avec les moyens mis à sa disposition mesurer une caractéristique du mécanisme (course du piston). La mesure du réel sera confrontée à celle réalisée grâce à un outil de simulation mécanique. Cette confrontation ne manquera pas d'engendrer un débat sur la précision des mesures et sur la validité d'un modèle. La course du piston sera ensuite mise en relation avec une caractéristique dimensionnelle du système de transformation de mouvement : l'excentrique.

Dans un premier temps, l'élève doit utiliser l'outil de simulation cinématique afin d'observer le graphe de déplacement du piston en fonction du temps, de préciser la nature de cette courbe et de relever la valeur de la course du piston. Pour l'aider, il dispose d'un didacticiel présentant l'utilisation, étape par étape, du grapheur de Motion Inventor [21](#).

Afin de stimuler une activité de rapport écrit, une zone de saisie est prévue pour la description du graphe de déplacement et l'explication de la démarche de relevé de la course [22](#).

L'élève doit ensuite exploiter le réel et imaginer une manipulation afin de relever la course puis déterminer la valeur de l'excentricité. Fort de ces différentes mesures, il sera à même de calculer la cylindrée et le débit théorique de chaque compresseur [23](#).



[23](#) Le document réponse sur le débit théorique

Ce TP ne permet pas de résoudre la problématique énoncée, mais introduit le second. Celui-ci, qui fera l'objet d'un prochain article, se propose d'étudier l'aspect énergétique des deux compresseurs.

En attendant, n'hésitez pas à nous communiquer vos remarques sur le fond et la forme de ce travail. ■