

Moyeu multivitesse Nexus (deuxième partie)

DANIEL BERNARD, OLIVIER CALVET, LAURENT DUROUSSEAU¹

Développée au sein de l'IUFM de Créteil, l'exploitation pédagogique du moyeu multivitesse Nexus offre un panel de situations d'apprentissage diversifiées sur les contenus et adaptables à différents niveaux d'enseignement.

Le contexte d'étude de l'IUFM et les tentatives innovantes

MOTS-CLÉS mécanique, cinématique, modélisation, travaux pratiques, CAO, DAO, prébac, postbac

d'exploitation ont permis de proposer un produit pédagogique (TP) constitué de ressources complémentaires (produit réel didactisé, produit réel semi-démontable, ressource informatique, maquette virtuelle, dossier technique) permettant de multiples configurations avec les élèves.

LA PRÉSENTATION DU PRODUIT

Le produit moyeu multivitesse Nexus de la société Shimano a été présenté dans le n° 113 de la revue *Technologie*. Le modèle étudié (figure 1) comporte un sous-ensemble de transmission à quatre rapports intégrés dans le moyeu et un sous-ensemble de freinage commandé par rétropédalage. L'intérêt pédagogique du système est multiple et permet notamment de développer deux concepts technologiques importants :

- l'adaptation des caractéristiques mécaniques d'entrées-sorties d'un système de transmission de mouvement ;
- le freinage.

Le thème se prête relativement bien à l'intérêt des élèves, que ce soit au niveau 2 ISI, SSI, STI, Bac Pro EDPI ou même BEP secteur industriel. Les étudiants préparant le BTS CPI pourront aussi trouver une source importante d'inspiration technologique.

Il s'agit d'un produit appartenant à l'environnement de la bicyclette, que les élèves connaissent bien. Toutefois, ce type de transmission n'est pas forcément bien connu, puisqu'on trouve

le moyeu multivitesse plutôt sur des bicyclettes de moyenne ou de haute gamme destinées à des personnes privilégiant le confort d'utilisation, ce qui n'est pas le critère prépondérant des jeunes.

Cependant, il est nécessaire de constater que les accessoires dans le domaine de la bicyclette ont évolué technologiquement de manière importante, depuis une bonne dizaine d'années, pour arriver à des produits relativement sophistiqués. Ces évolutions, rendues nécessaires par des pratiques diversifiées de la bicyclette (VTT, route, vélo de ville...), ont amené les constructeurs à proposer des modèles de bicyclette adaptés à différents publics.

Il est donc intéressant de présenter et de travailler avec un produit qui se rapproche du quotidien de la plupart des élèves et qui présente du même coup des intérêts techniques et économiques majeurs dans le cadre des apprentissages.

Le travail pédagogique relatif au Nexus s'est étendu sur un an. Le contexte de la préparation au concours, d'une part, et de l'année de formation IUFM d'un professeur stagiaire, d'autre part, ont permis de disposer d'apports techniques et pédagogiques complémentaires. La confrontation des points de vue dans l'équipe pédagogique (un formateur IUFM, un professeur de lycée technologique, un professeur stagiaire de lycée professionnel) ainsi que le contexte de formation et d'expérimentation de l'IUFM de Créteil ont permis de dégager des pistes pédagogiques intéressantes et innovantes.

LA PRÉSENTATION DU TP MOYEU MULTIVITESSES

La manipulation du système réel

La conception modulaire du moyeu à vitesses intégrées permet un démontage relativement aisé. Cette modularité permet d'isoler l'un ou l'autre des modules réalisant les deux fonctions principales (transmettre et freiner), soit dans le but d'occulter les parties trop complexes pour

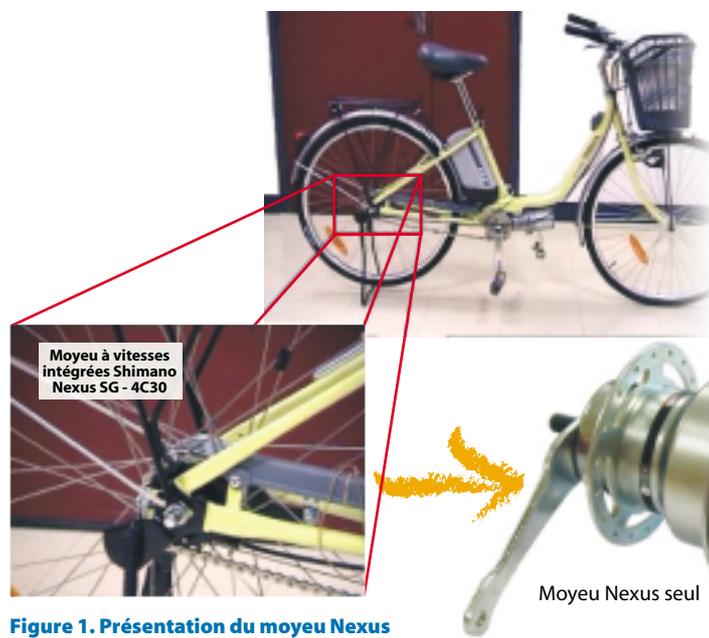


Figure 1. Présentation du moyeu Nexus

1. Respectivement professeur certifié de génie mécanique option construction au lycée Jacques-Feyder à Épinay-sur-Seine, professeur stagiaire PLP de génie mécanique option construction au lycée Joliot-Curie de Dammarie-les-Lys, professeur agrégé de mécanique à l'université de Marne-la-Vallée et intervenant à l'IUFM de Créteil.

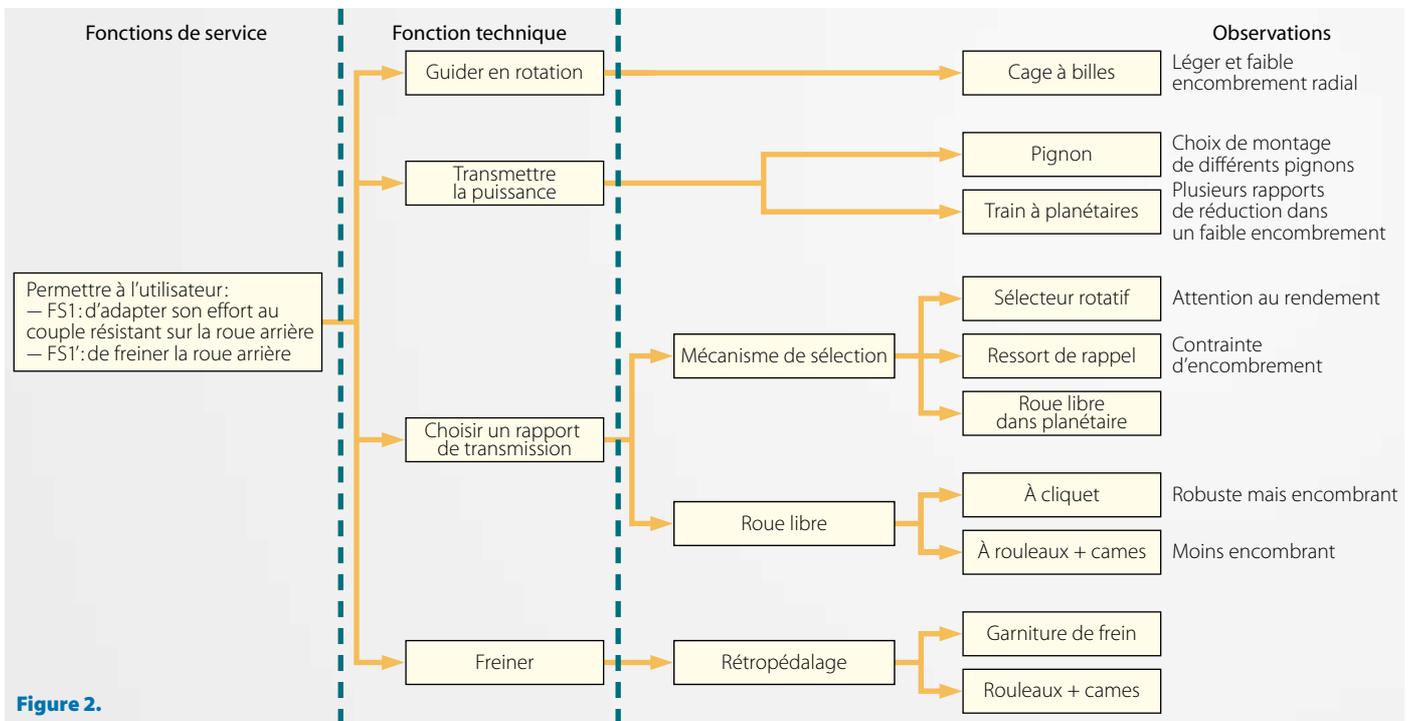


Figure 2.

un niveau de classe (transmission par train à planétaires), soit pour permettre de centrer rapidement l'étude sur la ou les parties qui permettront à l'élève d'atteindre, au terme des TP, les connaissances et compétences visées (transférables à d'autres systèmes).

Les activités de démontage, dont le degré de complexité est adaptable, permettent de confronter l'élève aux fonctions techniques et à leurs solutions (roue libre à cliquet, à rouleaux, frein à tambour...) (figure 3). Ces solutions pourront, par la suite, être comparées avec d'autres solutions répondant aux mêmes fonctions sur d'autres systèmes et critiquées sur différents critères (encombrement, résistances, prix...). Ce type d'activité concourt à l'ébauche d'une culture technologique indispensable à la compréhension de notre environnement technique.



Figure 3. Le moyeu Nexus en partie démonté

La figure 2 présente les différentes fonctions techniques et leurs solutions sur le moyeu Nexus.

Concernant les expérimentations, notre volonté a été de proposer une maquette permettant de réelles expérimentations de la part des élèves. Outre les activités de « démontage » évoquées ci-dessus, le système Nexus, par une maquette

simple et peu encombrante, devrait permettre aux élèves de mener des expérimentations avec un maximum d'autonomie. Il est ainsi envisagé de faire travailler les élèves sur une maquette permettant à la fois d'effectuer différents relevés de fréquences de rotation (ω_{plateau} ...), de mettre visuellement en évidence le déphasage entre le pignon et la roue pour certaines vitesses (index sur le pignon et sur la roue) et d'effectuer des mesures sur les efforts de freinage (pour ce dernier point, le mode opératoire et l'instrumentation restent à définir, même si une des solutions envisagées est la pose de différentes charges sur une pédale et la mesure des efforts à produire sur la roue pour atteindre la limite du glissement). Il est possible de laisser plus ou moins d'autonomie à l'élève aussi bien durant les mesures qu'en amont, durant la phase d'instrumentation de la maquette avec les différents instruments de mesure (capteurs de vitesse...).

Par cet accent porté sur la manipulation et l'expérimentation, l'objectif est double :

- d'une part, faire en sorte que les élèves soient capables, en les guidant, d'extraire de leurs observations des lois régissant le comportement de mécanismes et transférables à d'autres systèmes ;
- d'autre part, rendre l'apprentissage le plus autonome (mise en œuvre d'une démarche expérimentale : instrumentation partielle de la maquette...) et le plus motivant possible par la diversité des activités et des ressources disponibles.

Nous souhaitons que ces activités contribuent à éveiller la curiosité des élèves (Comment ça marche ? Comment c'est fait ?) et leur donnent les moyens et les outils de réponses à leurs questions.

La découverte technique du système à travers différents modes de représentation

Nous avons évoqué plus haut la difficulté de compréhension du fonctionnement que pouvait poser certains modules du moyeu et notamment le module de transmission par train à planétaires. De cette complexité est apparue naturellement la complémentarité des différents modes de représentation. Ainsi le dessin d'ensemble 2D, le modèle volumique et le schéma cinématique pris séparément ne sont pas capable de rendre compte à la fois du fonctionnement, de l'agencement (surfaces en contact, jeu...)

En comparant ci-dessous la transmission Nexus à des transmissions de vélo classique (vélo de ville et VTT), il apparaît que le moyeu Nexus offre un nombre de vitesses limitées (4) pour des raisons d'encombrement et de poids limité.
L'objectif de l'activité suivante est de vérifier expérimentalement si le moyeu Nexus atteint les mêmes performances que les transmissions actuelles.

La maquette de la transmission est équipée de capteurs permettant de mesurer **des vitesses de rotation** en différents points du mécanisme.

Relation liant mesure et vitesse de rotation

Le pédalier sera considéré comme l'entrée (fréquence de rotation ω_e) du mécanisme étudié et **la roue comme la sortie** (fréquence de rotation ω_s).
Tracez dans le graphique ci-contre les courbes représentant ω_s en fonction de ω_e pour chacune des quatre vitesses.



Ces courbes passent-elles par l'origine?

Oui

Figure 5.

D'après les observations et les mesures précédentes, **donnez** la loi entrée-sortie de la transmission pour chaque vitesse. Une loi entrée-sortie est une équation permettant de déterminer la vitesse de sortie d'une transmission en fonction de la vitesse d'entrée et d'une constante «R».

$$\begin{aligned} \omega_s &= 1 * \omega_e \\ \omega_s &= 1,24 * \omega_e \\ \omega_s &= 1,5 * \omega_e \\ \omega_s &= 1,84 * \omega_e \end{aligned}$$

En vous aidant du dossier ressource sur le calcul d'un rapport de réduction, **donnez** le nom que porte le coefficient permettant de calculer ω_{sortie} en fonction de $\omega_{\text{entrée}}$ dans une transmission de puissance.

Ce coefficient s'appelle le « rapport de transmission »

Le diagramme ci-dessous représente les rapports de transmission d'une transmission de vélo de ville classique.

Calculez, puis reportez sous formes de barres sur le diagramme ci-dessous les rapports de transmission d'un vélo de ville classique. Pour le calcul, vous disposez du dossier technique sur les transmissions de vélo et du dossier ressource sur le calcul d'un rapport de transmission : **reportez** dessous les valeurs des rapports de transmission Nexus que vous avez déterminées dans les parties précédentes du TP.

Rapports de transmission d'un vélo de ville classique

1 ^{re}	R =	
2 ^e	R =	
3 ^e	R =	

Rapports de transmission Nexus

1 ^{re}	R =	%
2 ^e	R =	%
3 ^e	R =	%
4 ^e	R =	

Conclusion : les performances de la transmission Nexus sont-elles comparables à une transmission d'un vélo de ville classique?

Oui, les performances de la transmission Nexus sont comparables à la transmission classique. La transmission Nexus offre même une vitesse supplémentaire.

On dit que «l'étalement des rapports de transmission est harmonieux» lorsque le rapport de transmission d'une vitesse à l'autre est quasi constant.

Calculez puis reportez dans le graphique ci-dessous la variation en % du rapport de réduction pour passer de la 1^{re} à la 2^e, de la 2^e à la 3^e et de la 3^e à la 4^e.

La transmission Nexus est-elle harmonieuse? Pourquoi?

Oui, car le pourcentage de variation du rapport de transmission d'une vitesse est toujours le même.

et de la forme, parfois complexe, de certaines pièces. Si le volumique permet d'appréhender rapidement la forme extérieure des pièces, il ne donne que des renseignements partiels sur les contacts entre solides. On peut de même remarquer que la construction de modèle 3D commence toujours par un profil sur un plan de projection 2D. Enfin, le schéma cinématique permet de mettre en évidence les mouvements et les caractéristiques essentielles de la transmission en ne fournissant aucun renseignement sur les solutions adoptées. Il semble dès lors important d'attirer l'attention des élèves sur l'intérêt des différents modes de représentation de cette transmission, ceux-ci étant accessibles par la ressource informatique (voir plus loin).

Les problèmes abordés et les contenus de formation

Proposition de TP en STI

Le premier TP reposant sur le sous-ensemble de transmission favorise l'expérimentation et la manipulation. Un second TP (non présenté dans cet article) aborde le sous-ensemble de freinage et est traité au niveau Bac Pro EDPI. Notre souci a été de proposer aux élèves des TP attrayants et abordant des problèmes à résoudre les plus vraisemblables possibles et relatifs à la construction mécanique.

Vérification expérimentale des performances du moyeu multivitesse

Le problème abordé par la première partie du TP proposé en STI est de vérifier les performances de la transmission Nexus pour la comparer à une transmission classique. La démarche proposée est une analyse descendante du produit et la compétence visée est une compétence de construction : «Déterminer les caractéristiques cinématiques d'une chaîne fonctionnelle» (BO, HS du 24 septembre 1992). Cette première partie du TP doit permettre à l'élève, grâce à des expérimentations sur un système réel, de découvrir la notion de rapport de transmission et la façon de le calculer dans des cas simples (figure 4 et 5). Au cours de cette étude, l'élève sera donc amené à :

- effectuer des mesures de vitesse pour calculer des rapports de réduction de la transmission Nexus ;
- calculer les rapports de transmission de différents vélos pour ensuite comparer les performances des différentes transmissions ;
- et conclure sur celle incluant le moyeu Nexus (figure 5 : en rouge figure des propositions de réponses attendues).

Dans cette étude, les outils de communication techniques (boîtes fonctionnelles...) et/ou graphiques (courbes...) sont utilisés par

Remplissez le tableau ci-dessous, en utilisant le document ressource «Rapports de transmission».

Vitesse sélectionnée	Rapport global mesuré R	Rapport de l'ensemble pignon-chaîne R_C	Rapport du moyeu à vitesse intégrée R_{NEXUS}
1			
2			
3			
4			

Écrivez la relation entre les rapports R , R_C et R_{NEXUS} , d'après le document ressource «Rapports de transmission»

$$R = R_C \times R_{NEXUS}$$

Figure 6.

l'élève pour rendre compte de ses observations et de ses expérimentations.

La conclusion de cette partie sur l'étude des performances de la transmission s'effectue par comparaison graphique des rapports de transmission et permet de mettre en évidence l'harmonie de la transmission.

Cette première partie aura permis d'introduire la notion de rapport de transmission, sa définition (rapport de la vitesse de sortie sur la vitesse d'entrée), les différentes façons de le calculer, et un réinvestissement de ces nouvelles compétences par des calculs de rapports de transmission sur un vélo de ville classique.

Étude du train à planétaires

La deuxième partie du TP proposée sur la transmission Nexus respecte la démarche descendante dans l'étude du produit suivie durant la première partie. L'objectif est ici une découverte et une étude technologique d'une transmission par train à planétaires.

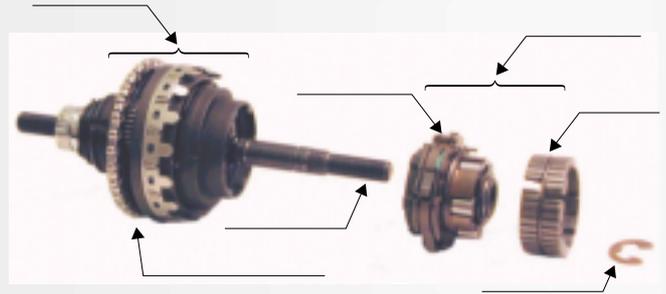
L'approche de ce type de transmission est souvent très délicate pour ce niveau de classe (fin de première ou terminale). Malgré cette difficulté, il est apparu important de développer cette activité pour initier les élèves à un type de transmission répandu, toujours dans l'objectif d'enrichir leur culture et leurs compétences technologiques sur des systèmes originaux et de conception récente.

De plus, l'étude de cette transmission est largement facilitée par l'exploitation de la ressource informatique, qui fait appel à des séquences animées du modèle 3D du train à planétaires permettant de visualiser les différents rapports de transmission.

Après l'étude globale de la transmission (depuis le pédalier jusqu'à la roue), les élèves sont tout d'abord amenés, dans cette deuxième partie, à décomposer la chaîne cinématique en deux transmissions distinctes (pignon-chaîne + moyeu Nexus) afin d'extraire de leurs expérimentations les rapports de transmission du moyeu seul (figure 6). Cette décomposition permet aussi d'aborder le calcul du rapport de transmission dans le cas de transmissions composées. Ces rapports de transmission expérimentaux du moyeu Nexus seront, en fin de TP, comparés avec ceux obtenus par le calcul.

La découverte du train à planétaires se poursuit par une description interne du moyeu (figure 7), l'objectif étant d'isoler le module de transmission qui fera l'objet de l'étude et d'identifier l'entrée et la sortie de ce mécanisme. La démarche est toujours descendante et s'appuie essentiellement sur la manipulation du système réel. Elle permet aussi une ébauche de décodage du dessin d'ensemble par utilisation de la ressource informatique.

À partir du moyeu démonté, du plan d'ensemble et de sa nomenclature, identifiez sur la photo ci-dessous, les éléments parmi la liste donnée sous la photo.



Sous-ensemble de transmission

Arbre

Cliquet

Cage à bille

Anneau élastique

Mâchoires de frein

Sous-ensemble frein à tambour

À partir du moyeu démonté, du moyeu installé sur la platine d'expérimentation, du plan d'ensemble et de sa nomenclature, identifiez ci-dessous, les éléments suivants par la fonction technique qu'ils assurent.

Fonction technique	Repère (voir dessin d'ensemble)	Désignation (voir dessin d'ensemble)
Recevoir le mouvement d'entrée		
Assurer une liaison encastrement avec la roue		
Assurer une liaison encastrement avec le cadre de la bicyclette		

Récupérez sur l'extrait du dessin d'ensemble ci-dessous les éléments suivants et coloriez (en utilisant les consignes de couleur). Si nécessaire, aidez-vous de la ressource informatique «Aide au décodage».

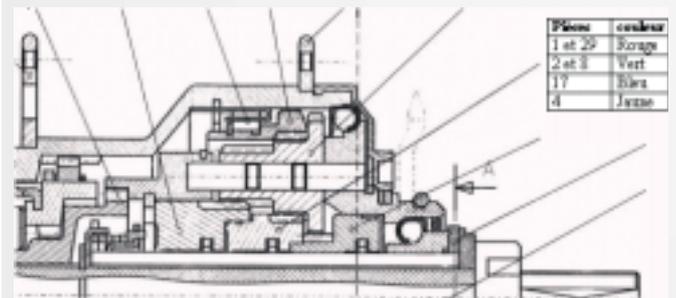


Figure 7.

L'étude du fonctionnement du train à planétaires proprement dite commence ensuite par une description qualitative du train et s'appuie essentiellement sur les séquences animées de la ressource informatique. Dans cette démarche, l'élève est tout d'abord amené à observer et à décrire la cinématique particulière de cette transmission en traçant la trajectoire d'un point d'un satellite pour différents rapports, puis à comparer ces trajectoires avec celles obtenues dans le cas où le porte-satellites est fixe (figure 8).

De cette observation découle ensuite une étude sur les trains à planétaires dans le cas où le porte-satellites est fixe. L'élève doit tracer le flux de transmission, identifier les roues menées et menantes et calculer la raison de base de chaque train (figure 9), qui est présentée ici comme une caractéristique interne de ce type de train.

- a) **Trajectoire épicycloïdale**
Le mouvement particulier du satellite (il roule sur le planétaire) rend délicat la détermination des rapports de transmission en fonction des caractéristiques des dents.
- Avez-vous observé la trajectoire d'un point du satellite dans les différents rapports?
Pour cela visualisez la **ressource informatique «Fonctionnement du Nexus»**.
- Dessinez à main levée les trajectoires dans le plan de l'engrènement pour les rapports 2, 3 et 4.

Trajectoire rapport 2	Trajectoire rapport 3	Trajectoire rapport 4
-----------------------	-----------------------	-----------------------

- b) **Étude de la caractéristique interne**
Connaissant le rapport de transmission d'un engrènement à axes fixes, nous allons adapter cette relation au train épicycloïdal utilisé dans le moyeu multivitesse.
- Dans la **ressource informatique «Fonctionnement du Nexus»**, vous trouverez un lien vers «Raison basique». Vous remarquerez que dans la configuration présentée, nous avons désolidarisé le train épicycloïdal du moyeu Nexus et que le porte-satellites est fixe.
Que devient la trajectoire d'un point du satellite dans ce cas (et ceci quel que soit le rapport de transmission étudié)?

Figure 8.

La dernière partie du TP, peut-être aussi la plus complexe car assez théorique et basée sur la manipulation d'équations faisant intervenir la raison de base des trains à planétaires et les vitesses angulaires des différents composants (satellite, porte-satellites...), vise à comparer les résultats des rapports de transmission obtenus par le calcul et expérimentalement (figure 10).

Proposition de mini-projet en seconde ISI

Il est actuellement envisagé de proposer un mini-projet en seconde ISI sur le système Nexus. En effet, ce produit fait partie d'une plus large gamme de composants de même type répondant aux besoins d'une clientèle diversifiée. Ainsi, les moyeux maintenant importés en France sont quasi exclusivement équipés de freins à commande manuelle. Ces freins, reposant sur le même principe que ceux à commande par rétro-pédalage, se présentent sous la forme d'un module externe au moyeu et rapporté sur celui-ci via un ensemble de cannelures.

- À partir de la **ressource informatique «Fonctionnement du Nexus»**, vous allez déterminer les expressions des «raisons basiques» en fonction du nombre de dents.
- Observez pour chaque raison basique les dents qui sont actives, le flux de transmission des dents menantes et menées.
- Remplissez, pour chaque rapport de transmission, le tableau ci-dessous. On demande notamment de définir :
 - le flux de transmission «qui passe par les différentes dents actives» (en rouge – voir exemple sur le rapport 2);
 - les dents menantes (M), menées (m) et non active (O);
 - Le rapport de transmission en fonction des nombres de dents $Z_{13}, Z_{21}, Z_{23}, Z_{16}, Z_{\omega}, Z_b, Z_c$.

Rapport	Identification du flux de transmission	Rapport de transmission $\lambda = (\omega_s/\omega_e)$
2		Expression littérale de λ_2 :
		Expression numérique de λ_2 :
		Calcul de λ_2 :
3		Expression littérale de λ_3 :
		Expression numérique de λ_3 :
		Calcul de λ_3 :
4		Expression littérale de λ_4 :
		Expression numérique de λ_4 :
		Calcul de λ_4 :

Figure 9.

En possession de la maquette, du moyeu à rétro-pédalage démontable, du dossier technique (ressource info), du nouveau CdCF et de la maquette volumique du nouveau module de freinage externe à commande manuelle, l'élève doit produire le

V-5 Vérification par le calcul des rapports de transmission du Nexus

- Connaissant la raison basique du train épicycloïdal pour les différents rapports de réduction, nous allons déterminer l'expression du rapport de transmission du Nexus pour les différentes sélections.
- À l'aide du **document ressource sur les trains épicycloïdaux (ou planétaires)**, vous allez constater que les expressions des raisons basiques s'expriment en fonction des vitesses angulaires relatives au porte-satellites. Pour passer de cette expression à celle du rapport de transmission du Nexus, il est nécessaire de passer par la composition des vitesses angulaires.
- Remplissez, pour chaque rapport de transmission, le tableau ci-contre. On demande notamment de définir :
 - l'élément fixe (f), l'élément d'entrée (e) et l'élément de sortie (s);
 - les dents menantes (M), menées (m) et non active (O);
 - Le rapport de transmission en fonction des nombres de dents $Z_{13}, Z_{21}, Z_{23}, Z_{16}, Z_{\omega}, Z_b, Z_c$.

Figure 10.

Rapport	Identification des éléments de transmission	Fiche de calcul
2		Expression littérale de λ_2 en fonction des vitesses angulaires :
		Expression numérique de R_{Nexus} en fonction des vitesses angulaires :
		Relation de composition de vitesses angulaires :
Expression de R_{Nexus} en fonction de λ_2 :		

modèle volumique du corps du nouveau moyeu. Cette modification consiste essentiellement à implanter des cannelures sur un coté du corps du moyeu et à modifier sa forme (supprimer un volume inutile). Cette problématique concerne donc «l'évolution d'un produit ou d'un système en réponse à une modification du cahier des charges» (BO, HS n° 6 du 31 août 2000).

Dans le déroulement de ce mini-projet, nous proposons ici deux scénarios possibles (voir figure 11) :

– le premier cas (celui de gauche) correspond à la situation où la maquette virtuelle du nouveau mécanisme interne est déjà fournie. Dans ce cas, les pièces inutiles de l'ancien module de freinage ont été supprimées et les modifications de formes

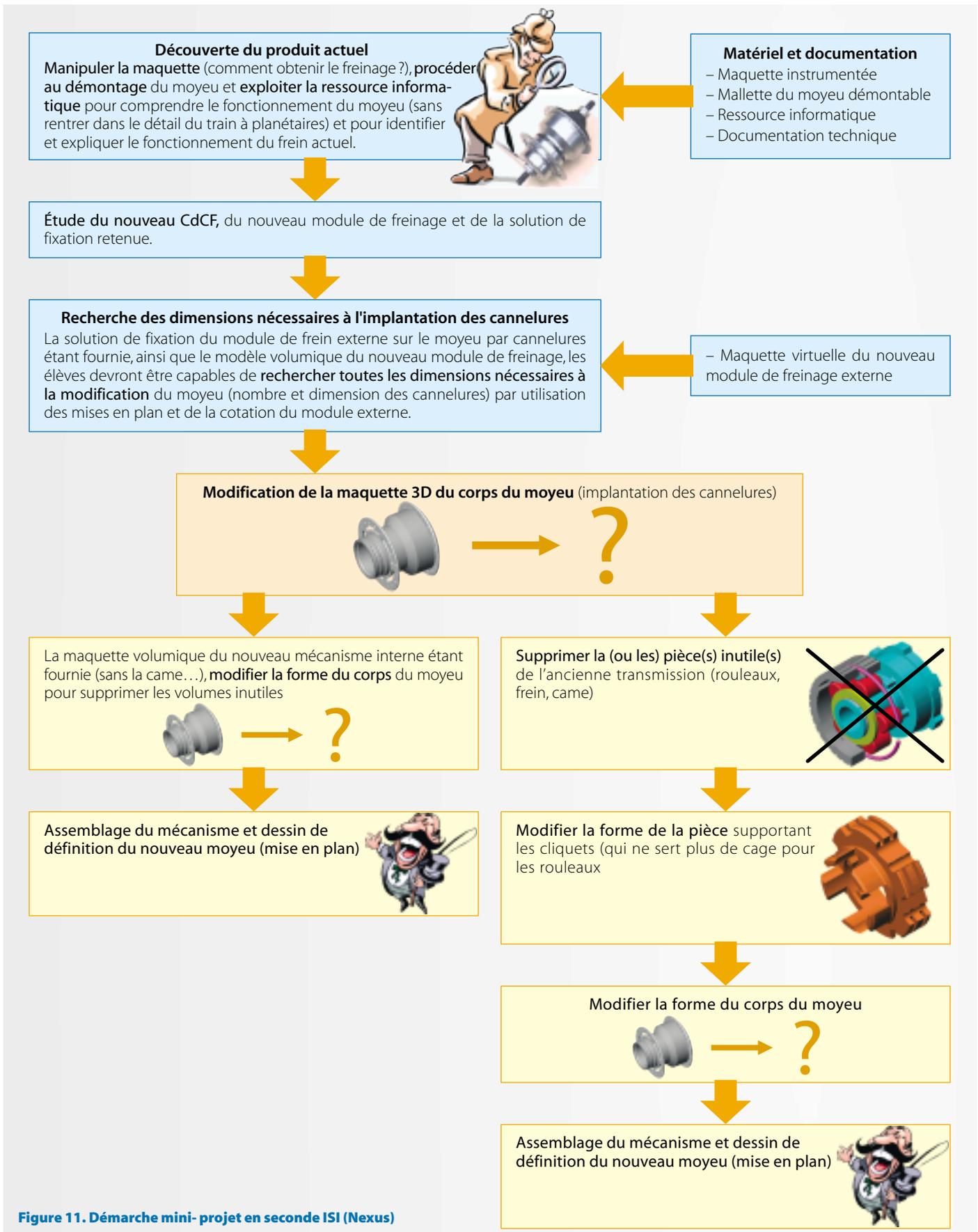


Figure 11. Démarche mini-projet en seconde ISI (Nexus)

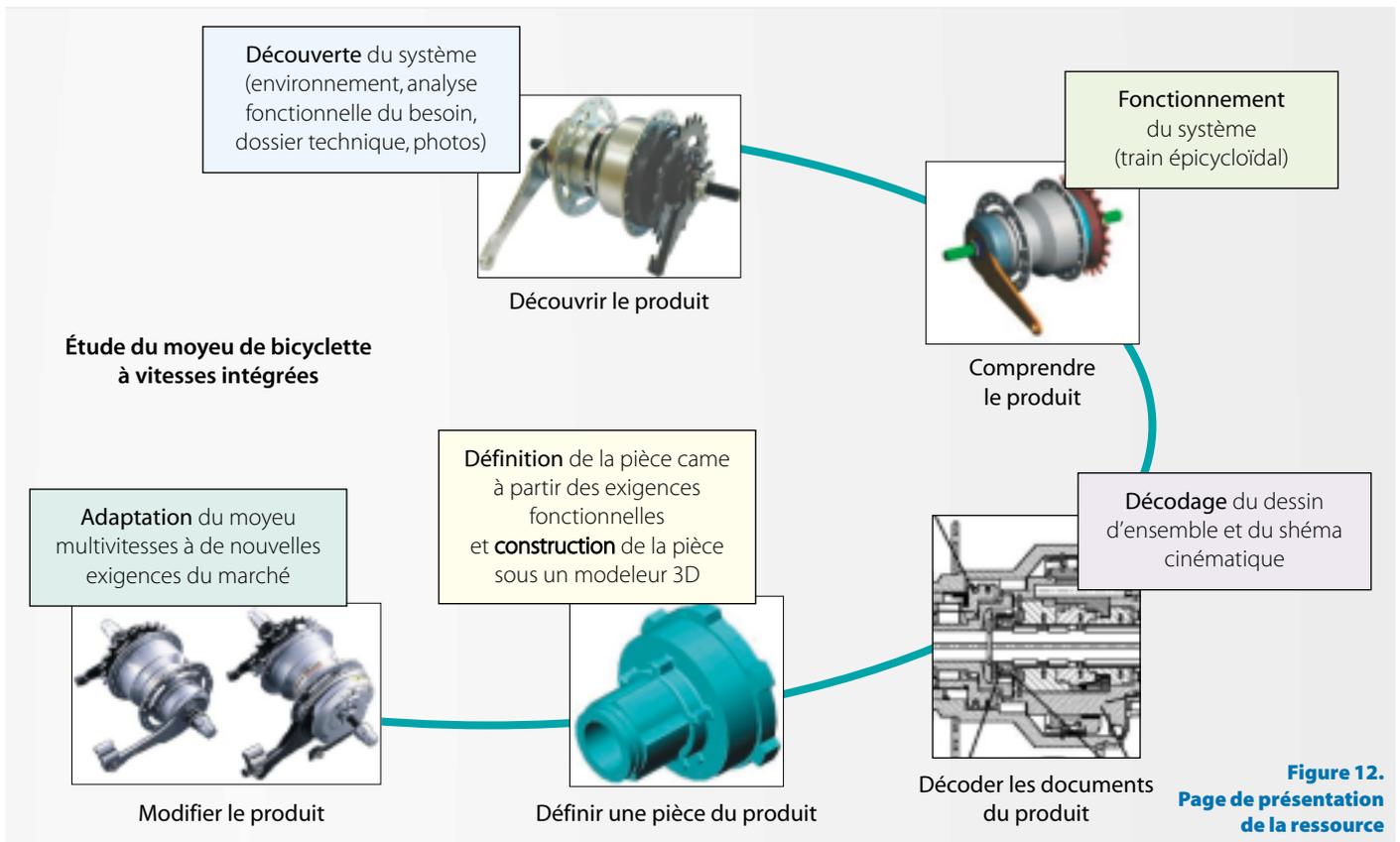


Figure 12.
Page de présentation de la ressource

nécessaires sur les autres pièces à conserver (pièce support de cliquet...) sont déjà réalisées ;

– le deuxième cas, plus complexe et sans doute plus long, fait appel à une reconception plus approfondie de la part des élèves, puisqu'ils ont eux-mêmes à réaliser les modifications citées ci-dessus (modification de pièces supplémentaires et suppression des pièces désormais inutiles). Ce deuxième cas présente, entre autres avantages, celui de pouvoir faire travailler les élèves sur le modèle 3D d'un plus grand nombre de pièces.

On note, enfin, que sur le module de frein externe à commande manuelle les concepteurs ont choisi d'utiliser trois mâchoires au lieu de deux sur le frein à rétropédalage. Cette modification pourrait aussi faire l'objet de travaux élèves sur la maquette 3D, menés en parallèle de ceux cités ci-dessus, en permettant ainsi à plusieurs élèves de « traiter différentes problématiques individuellement, qui sont ensuite regroupées pour donner naissance à la réalisation concrète » (BO, HS n° 6 du 31 août 2000).

LA RESSOURCE INFORMATIQUE

Cette ressource a été développée en langage html et JavaScript pour une meilleure compatibilité. De plus, ce langage étant assez ouvert, beaucoup de professeurs auront la possibilité de modifier le code afin de restreindre les accès vers telle ou telle page. Les axes pédagogiques développés (voir figure 12) sont de cinq ordres relativement hiérarchisés dans leur approche.



Figure 14. Situation du train épicycloïdal

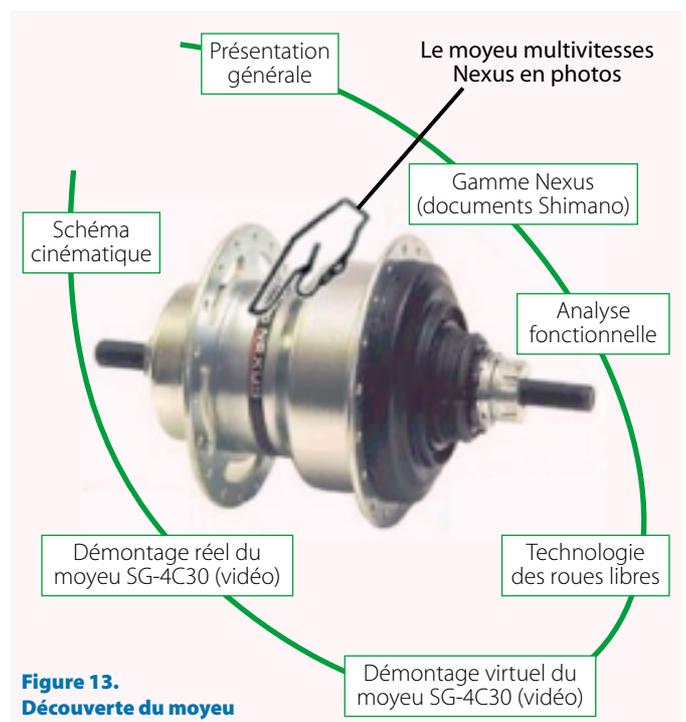
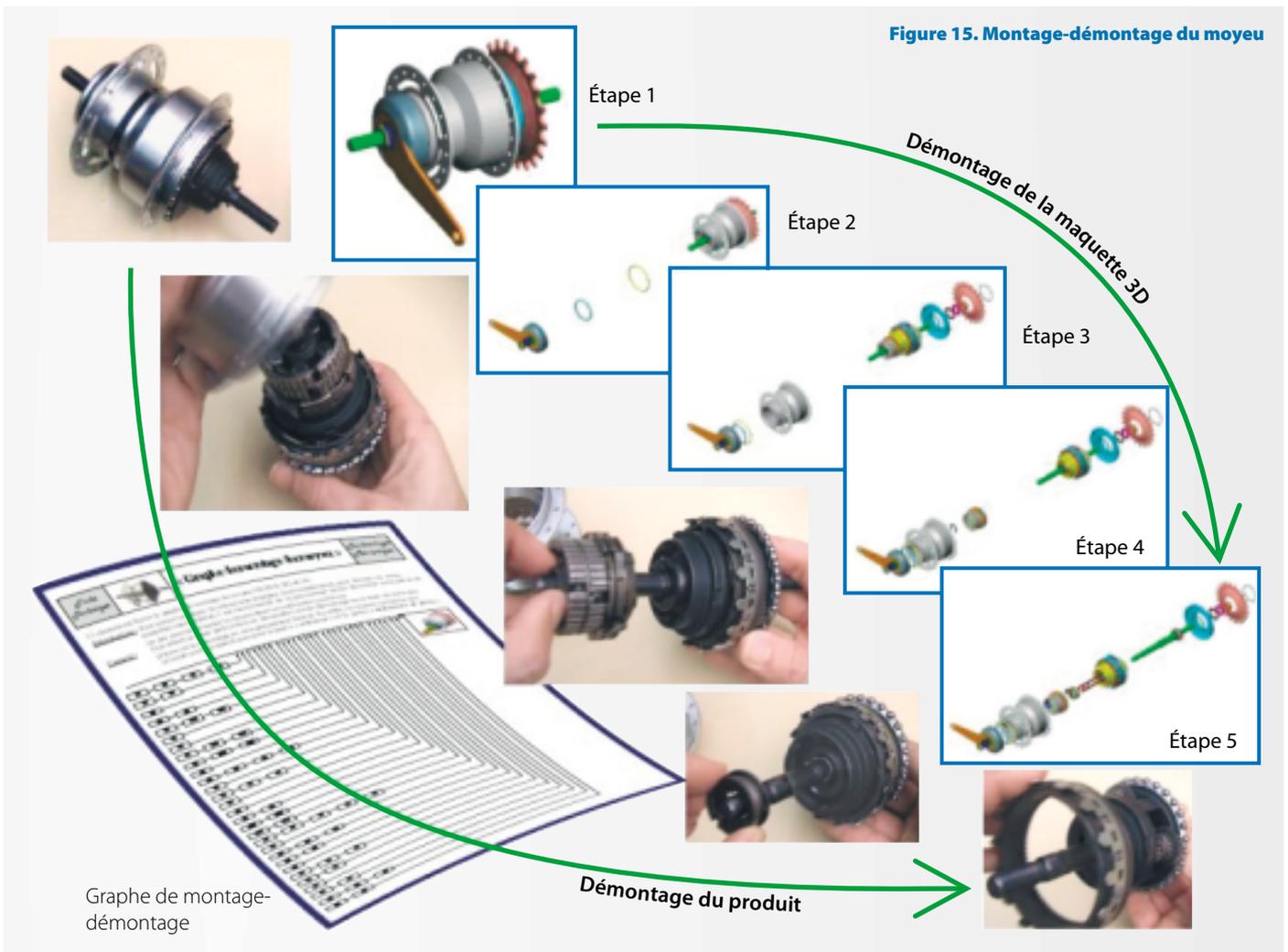


Figure 13.
Découverte du moyeu

Découverte du système moyeu multivitesse (voir figure 13)
On accède ici à l'analyse fonctionnelle du moyeu, à des photos en haute résolution ainsi qu'à un dossier technique recouvrant les diverses spécificités du moyeu multivitesse.

Fonctionnement du système moyeu multivitesse
On accède principalement à l'analyse de la transmission de mouvement par l'intermédiaire de l'étude des trains épicycloïdaux (voir figure 14). Les aspects pédagogiquement difficiles ne sont pas évacués mais présentés de manière immédiate par un ensemble de vidéos explicatives.

Figure 15. Montage-démontage du moyeu



Décodage des documents techniques du produit

Ce développement est le résultat d'une réflexion concernant la relation des représentations 2D – 3D et est proposé comme un outil tout à fait reproductible sur un autre système.

Définition d'une pièce du système

Deux approches distinctes sont abordées, pour des niveaux d'enseignement différents. L'une correspond aux étapes de construction de la pièce sous un modèleur 3D (indépendamment du logiciel). L'autre approche propose l'étude fonctionnelle de la pièce dans son environnement.

Adaptation du moyeu à de nouvelles exigences du marché

Nous avons eu la chance de travailler sur un produit particulier d'une gamme. Cet aspect permet une approche ouverte des choix de conception en fonction des contraintes offertes par l'étude fonctionnelle du besoin. Deux développements sont abordés, l'un concerne la modification des rapports de transmission du Nexus en adaptant le train épicycloïdal, l'autre concerne l'abandon de la commande de frein par rétro-pédalage au profit d'une commande du frein manuelle au guidon.

L'apport pédagogique de la ressource informatique

Sans se substituer au travail du professeur avec ses élèves, la ressource informatique joue un rôle complémentaire aux autres éléments du TP (produit réel, doc technique). Les différentes aides proposées par la ressource informatique sont décrites ci-après.

Le montage-démontage du Nexus (dans la partie « Découverte du système »)

Les documents proposés pour cette opération sont de natures différentes : démontage réel sous forme vidéo, démontage virtuel de la maquette 3D, arbre de démontage et documents d'origine constructeur. Chaque document aborde le démontage du Nexus de manière très différente et complémentaire. L'ensemble des deux vidéos (voir figure 15) montre de manière immédiate les différentes étapes du démontage (le démontage virtuel allant plus loin que le démontage réel). L'activité centrale de l'élève est de retranscrire un ordre de démontage pour un opérateur (définition des étapes, désignation des pièces intéressées, outillage nécessaire, précautions d'usage).

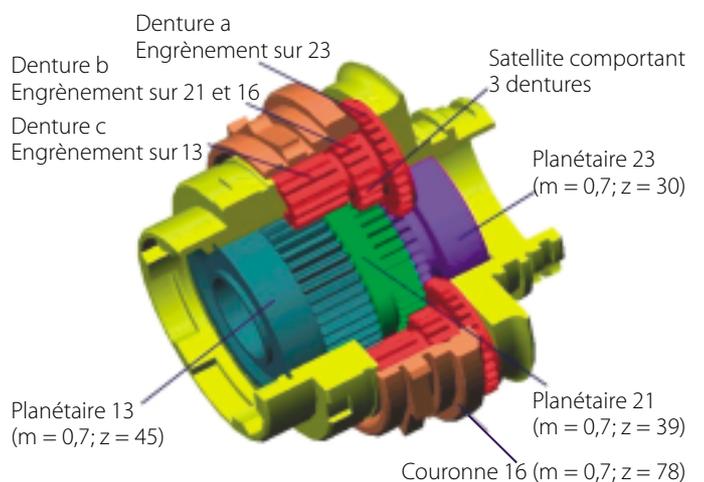
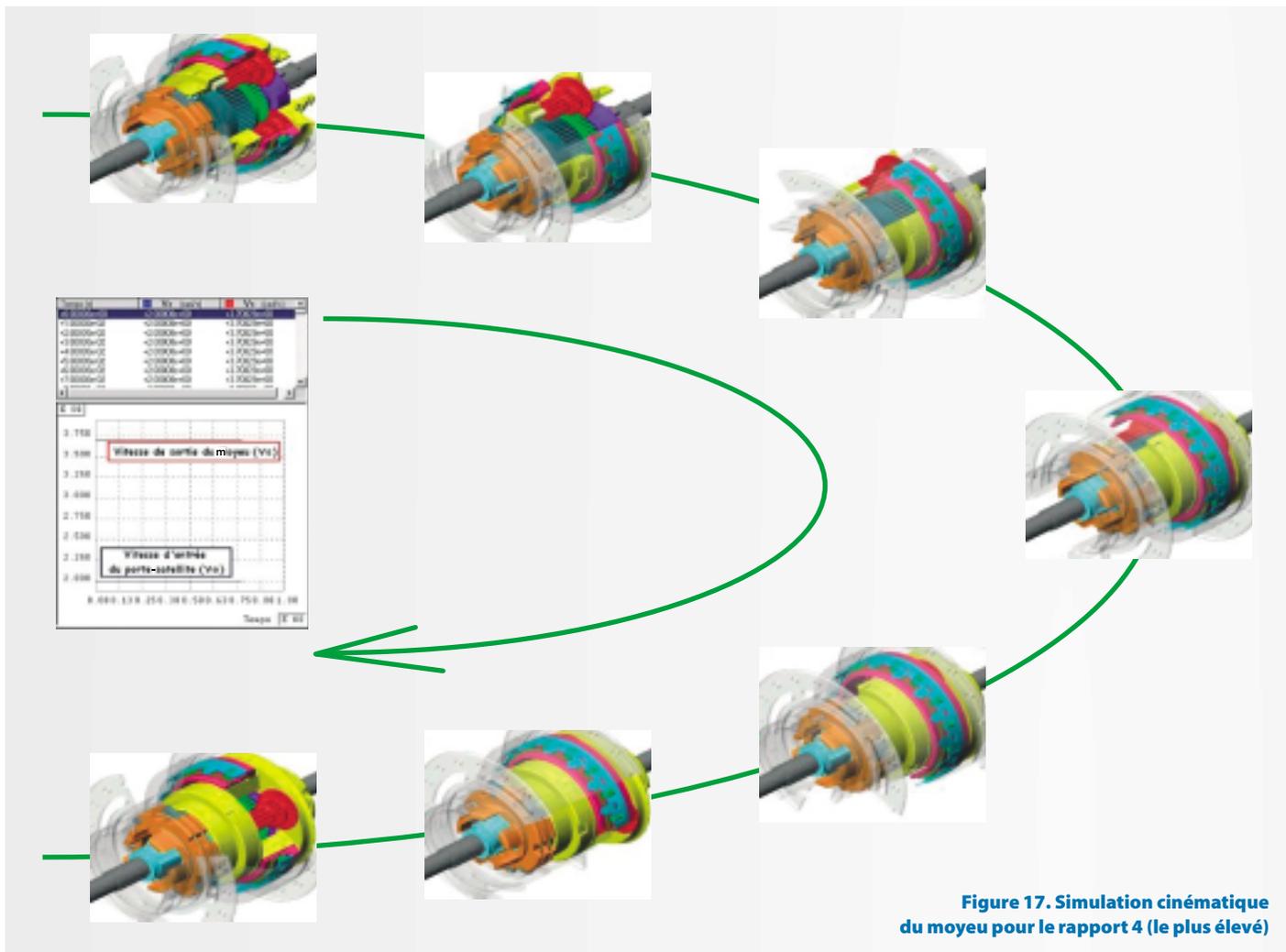


Figure 16. Détail du train à planétaires



La vérification des performances de transmission du système

Cette situation d'apprentissage se décompose en deux séquences pédagogiques. Ces séquences abordent, d'une part, l'analyse de la transmission et le calcul du rapport de transmission d'un mécanisme de changement de vitesses à partir de résultats expérimentaux et, d'autre part, l'analyse technologique de la partie train épicycloïdal et l'établissement du rapport de transmission en fonction des caractéristiques internes du train.

La complexité du système de transmission de mouvement (voir figure 16) oblige à une description visuelle du fonctionnement plus immédiate. La simulation mécanique du système de transmission de la maquette virtuelle (voir figure 17) permet de mieux faire appréhender aux élèves les mouvements des différentes pièces, la nécessité de « modifier » le train pour modifier la vitesse de sortie. L'établissement de la loi d'entrée-sortie n'est évidemment pas abordé pour des classes de première ou de terminale STI. Cette loi est directement utilisée par les élèves comme une relation constructeur dans le but de vérifier les résultats de la modélisation mécanique. La ressource est d'autant plus nécessaire pour cette partie que la manipulation directe de l'objet réel ne permet pas (ou difficilement) de comprendre la transmission du mouvement d'un élément à un autre.

De la même manière est présentée (ce qui est assez immédiat par manipulation sur le produit réel, dans ce cas) la définition de la raison basique, afin de faire comprendre aux élèves la différence entre une caractéristique propre à un système mécanique, intrinsèque à sa construction (la raison basique), et une caractéristique dépendante des conditions d'utilisation (le rapport de transmission).

La définition d'une pièce du moyeu

Les pièces du moyeu multivitesse, de formes relativement complexes, offrent la possibilité de développer trois axes pédagogiques.

- On peut effectuer la lecture d'une représentation plane (dessin de définition ou dessin d'ensemble), en mettant en place une méthodologie de décodage (volumes et surfaces élémentaires, puis fonctions technologiques associées).
- On peut construire une pièce à l'aide d'un modèleur 3D. La démarche, associée à une « lecture » correcte de la pièce, aborde certains notions géométriques de base permettant de compléter la culture technologique (par exemple : la notion d'axe, qui est un élément symbolique lors de la lecture d'un dessin de définition, apparaît comme un entité indissociable de la construction d'un volume de révolution) (figure 18).
- L'analyse fonctionnelle peut être effectuée sur une pièce. Ce développement permet de recenser l'interaction de la pièce étudiée avec les autres pièces environnantes du système pour un point de vue donné (ici en utilisation) et d'arriver à définir cette interaction par des fonctions techniques (figure 19).

Le TP applique ces trois développements pédagogiques plus particulièrement sur une pièce : la came 12, qui joue un rôle majeur dans la réalisation des deux fonctions de service (FS1, transmettre la puissance dans le cas de la « prise directe », et FS2, freiner). L'intérêt pédagogique pour l'élève de travailler sur la même pièce est d'arriver à composer une démarche spécifique d'analyse en fonction du résultat recherché :

- définir les formes extérieures de la pièce, pour en déduire ses caractéristiques propres et des éléments concernant son mode d'obtention, à partir d'une représentation 2D ;

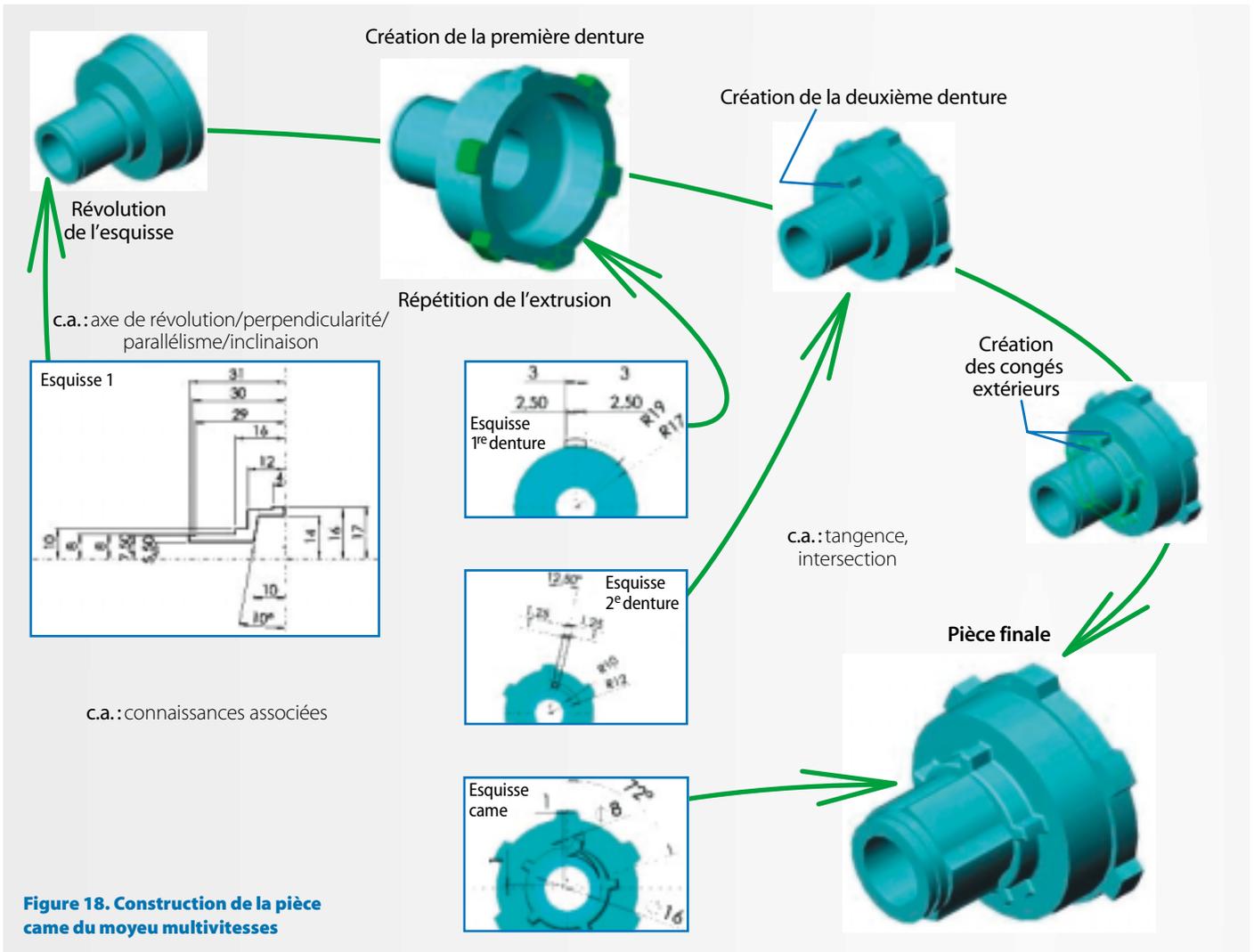


Figure 18. Construction de la pièce came du moyeu multivitesse

- définir une démarche de construction dans le but de réaliser la pièce sous un modèleur 3D;
- lister et hiérarchiser les fonctions techniques attendues de la pièce pour la concevoir et la coter fonctionnellement.

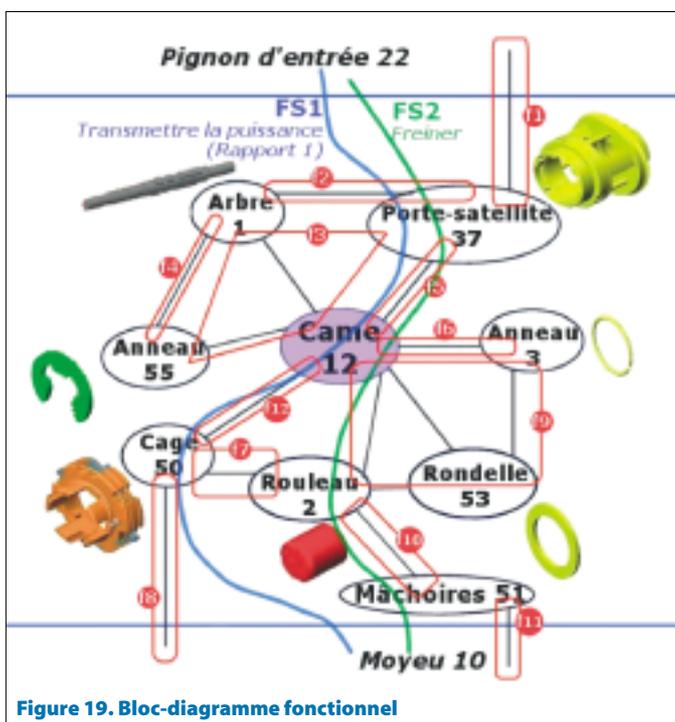


Figure 19. Bloc-diagramme fonctionnel

La reconception du système de transmission

Cette partie, non terminée, devrait permettre d'aborder des problématiques professionnelles adaptables à différents types de public.

La gamme Nexus moyeu multivitesse du constructeur Shimano se décline en trois modèles de transmission (3, 4 et 7 vitesses), avec pour chaque modèle la possibilité d'avoir une commande manuelle ou une commande « rétropédalage » pour le frein (voir figure 20).

Le TP présente trois études de reconception ou de modification de pièce pour trois niveaux d'études :

- la reconception du moyeu sous un modèleur 3D, pour le moyeu multivitesse à frein à commande manuelle. Plutôt dirigée vers



Figure 20. Nexus (4 rapports)

les sections 2 ISI (voir « Proposition de mini-projet en seconde ISI »), cette séquence, partant d'une analyse comparative des deux principes de commande de frein, doit déboucher vers une simplification du moyeu extérieur (le sous-ensemble de transmission n'évoluant pas, le sous-ensemble frein se trouve indépendant du système de transmission);

— l'optimisation de la conception des trains à planétaires avec la mise en place d'une stratégie de conception descendante permettant ainsi le paramétrage des diamètres primitifs de fonctionnement des trains en relation avec les rapports de transmission souhaités (voir figure 21). Ce niveau d'étude, qui s'adresse plutôt à des BTS CPI, est rendu difficile du fait de la définition optimale des engrenages (déport des dentures avec variation d'entraxes pour pouvoir s'adapter aux contraintes d'encombrement du train et à l'équilibrage à l'usure). L'étape initiale de l'étude consiste à établir les relations donnant les diamètres primitifs des différents engrenages en fonction des rapports de réduction (R_2 , R_3 , R_4) et de l'entraxe;

— l'étude d'un moyeu multivitesse à trois rapports. À partir du nouveau schéma de principe et du système Nexus 4 vitesses totalement défini, les élèves de Bac Pro EDPI définissent les nouvelles pièces en essayant de minimiser les modifications par rapport au système 4 vitesses (critère économique).

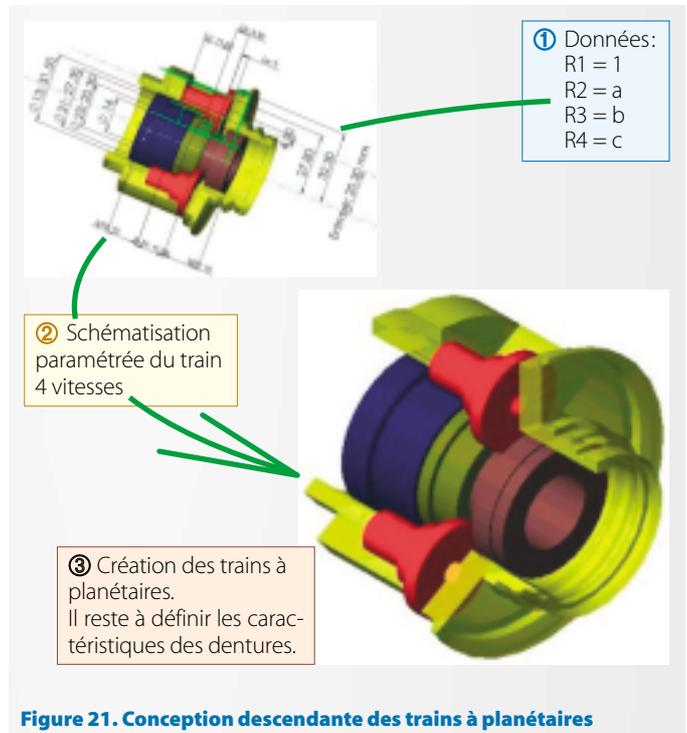


Figure 21. Conception descendante des trains à planétaires

VERS UN ENVIRONNEMENT MULTIFORME DU TP EN CONSTRUCTION MÉCANIQUE

Le travail élaboré sur le moyeu multivitesse Nexus dans le cadre de réflexion de l'IUFM (nombreux échanges entre formateurs IUFM, stagiaires ou nouveaux titulaires) a permis aussi d'appro-

fonder la définition d'un TP élève dans l'enseignement de la construction.

Après la diffusion du guide « L'enseignement de la construction dans les spécialités industrielles » (1999), la rénovation du Bac Pro EDPI, la transformation des 2 TSA en 2 ISI, on

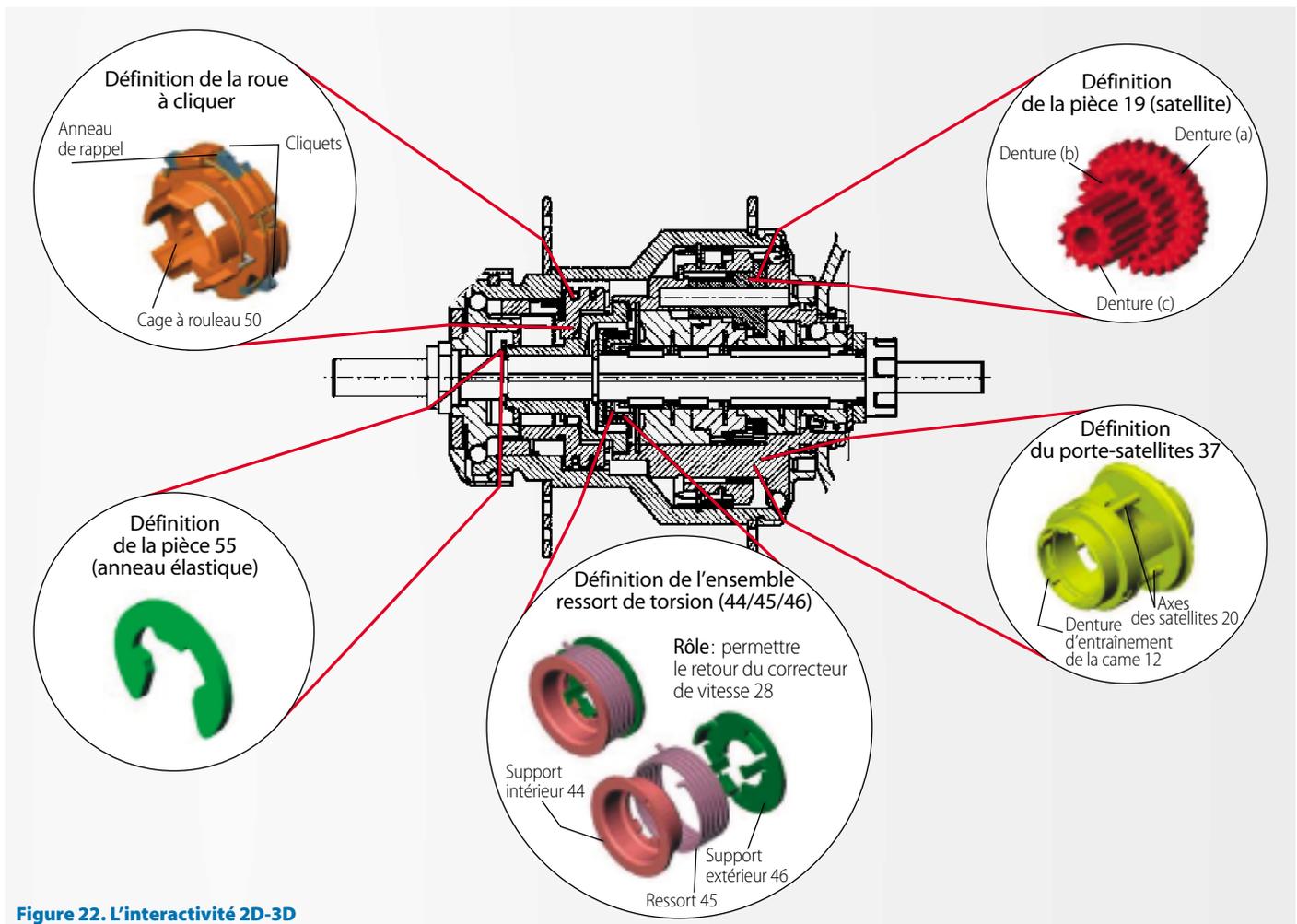


Figure 22. L'interactivité 2D-3D

s'aperçoit que l'on converge vers des pratiques pédagogiques similaires (recherche de problématiques, activité élève sur TP réel, utilisation réfléchie de l'outil informatique), et il a été nécessaire de réfléchir à ce qu'implique la mise en œuvre d'un TP par un professeur de construction pour tel ou tel public.

Un des aspects insidieux de la création de TP est la complexité de sa conception. Cet aspect rend évidemment quasiment impossible une progression de séquences sur des thèmes totalement originaux. L'utilisation de thèmes préexistants (sous la forme de mallettes pédagogiques ou de produits didactisés) est donc fortement préféré. Cependant, chacun sait qu'il est difficilement envisageable d'utiliser les séquences pédagogiques fournies avec le produit TP sans apporter sa propre sensibilité (adaptation au public, aux matériels, à la progression pédagogique envisagée...). Le professeur débutant est souvent dans un rôle de consommateur de TP « prêt à utiliser » plus ou moins guidé par les inspections académiques ou les collègues plus expérimentés. Le réseau Internet, par l'intermédiaire de certaines listes de diffusion dynamiques, permet aussi d'échanger, sur tel ou tel produit, l'expérience de chacun. On commence même à voir apparaître spontanément des travaux d'élaboration de séquences pédagogiques entre professeurs ne se connaissant pas de vue. Ceci laisse présager que le TP « clé en main » ne peut pas être une finalité.

La conception d'un TP actuel ne doit pas restreindre l'imagination et la capacité du professeur à créer ou à adapter une progression pédagogique.

Dans la formation initiale des professeurs de construction, cette composante de création de TP est importante. Elle doit permettre à chacun d'appréhender ses limites dans la conception d'un TP adapté :

- la recherche du thème technique n'est souvent que la partie la plus simple ;
- la recherche documentaire nécessaire pour rassembler l'ensemble des données sur le thème est peut-être la partie la moins organisée chez le professeur de construction (certainement à cause d'un manque de formation sur les techniques de recherche documentaire) ;
- l'exploitation pédagogique reste de manière incontournable le travail du professeur de construction, quels que soient les éléments de départ. Ce constat oblige au moins à un remaniement des séquences pédagogiques qui sont fournies dans les TP commercialisés.

Le TP Nexus répond aux deux premières remarques (le thème et la documentation technique). Les exploitations pédagogiques proposent un ensemble d'éléments adaptables et modifiables par le professeur. Il nous a semblé nécessaire de laisser le professeur maître du jeu dans l'élaboration finale de son TP. Mieux que les

concepteurs du TP, le professeur sait de quelle manière pourra passer telle ou telle activité pour une classe donnée.

L'utilisation du langage html pour réaliser la ressource informatique ainsi que l'arborescence utilisée pour les différentes parties laissent une possibilité importante au professeur de modifier les liens hypertextes (pas la peine d'être un grand expert) pour laisser aux élèves uniquement les parties utiles à la séquence qu'il souhaite développer.

Cette tentative de TP multiforme invite surtout les professeurs à développer leurs propres séquences à partir des sources de l'ensemble des fichiers mis à disposition.

- Dans cet esprit, deux éléments de la ressource informatique méritent d'être insérés dans différents TP reposant sur le Nexus :
- le dossier technique informatisé ;
 - l'aide au décodage des documents techniques.

Devant les difficultés d'associations qu'ont les élèves face aux différentes représentations d'un même système, l'aide au décodage proposée par la ressource informatique inverse la démarche traditionnelle qui consiste à tenter de projeter la pièce sur des plans orthogonaux pour arriver à une représentation normalisée en 2D. La compréhension d'un dessin technique 2D ne passe pas uniquement par une simple lecture des « traits ». Mais la part d'images redondantes (comme les composants standard), la culture technologique et les hypothèses concernant le fonctionnement ont une importance capitale dans le déchiffrement d'un système mécanique. L'aide proposée consiste, en partant du dessin d'ensemble, à retrouver la forme volumique des pièces ou des ensembles constituant le système (voir figure 22). Le passage du pointeur de la souris sur chaque pièce du dessin d'ensemble affichée à l'écran (zone réactive) déclenche sa représentation en 3D (pour certaines pièces complexes, une vidéo est proposée). Le même processus est proposée pour décoder le schéma cinématique du moyeu multivitesse Nexus.

CONCLUSION

Aidé par un produit technique moderne et de manipulation aisée (le moyeu multivitesse Nexus), nous avons pu élaborer un ensemble de pistes pédagogiques (voir le tableau ci-dessous) adaptable à différents niveaux d'enseignement et tentant de répondre aux nouveaux textes en vigueur.

Cet ensemble de travaux devrait être commercialisé à la rentrée 2001. Des extraits de la ressource informatique sont proposés sur le site du département génie mécanique de l'IUFM de Créteil : www.creteil.iufm.fr/iufm gm.

TP envisagé sur le moyeu multivitesse Nexus	Type de classe	Éléments officiels (référentiels ou BO)	Méthodologie et activités élèves	Ressources initiales
Décomposition volumique et par fonction technologique de la pièce came 12	BEP industriels 1 ^{re} année	<p>Compétences spécifiques</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Identifier et désigner la forme géométrique des surfaces et des volumes constitutifs d'une pièce. <p>Connaissances associées</p> <ul style="list-style-type: none"> – Volumes élémentaires – Congés de raccordement – Dessin de définition 	<p>Méthode individualisée</p> <p>Activités</p> <ul style="list-style-type: none"> – Identification des formes globales de la pièce en 3D (simplification des formes). – Identification de certaines formes par une analyse de leur fonction intrinsèque (congés de raccordement, dépouille). – Mettre en relation avec la représentation dessin de définition. – Caractériser le congé de raccordement (rayon, tangentes). – Réaliser un congé de raccordement. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Analyse fonctionnelle du moyeu 2. La pièce réelle came 12 3. Arbre de construction sous modèleur 3D 4. Le dessin de définition de la pièce 12

TP envisagé sur le moyeu multivitesses Nexus	Type de classe	Méthodologie et activités élèves	Méthodologie et activités élèves	Ressources initiales
Établir l'ordre de montage du moyeu Nexus	BEP industriels 2 ^e année	<p>Compétences spécifiques</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Inventorier les pièces constitutives d'un sous-ensemble ou d'un ouvrage. ● Décrire une solution constructive à partir d'une représentation volumique ou d'un produit réel. <p>Connaissances associées</p> <ul style="list-style-type: none"> – Utilisation d'une nomenclature – Arbre de démontage – Technologie des arrêts – Guidage en rotation 	<p>Méthode inductive et individualisée</p> <p>Activités</p> <ul style="list-style-type: none"> – Identification des différents sous-ensembles constituant le moyeu à partir du dossier technique. – Décision de la situation finale du démontage à partir de la définition d'un ordre de montage. – Repérage de l'ordre de démontage. – Identification des ensembles de pièces à partir de la nomenclature. Aide au décodage de la ressource multimédia. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Analyse fonctionnelle technique du moyeu. 2. Le moyeu multivitesses complet 3. L'outillage nécessaire 4. Aide informatique au décodage 5. Le dessin d'ensemble + la nomenclature
Modification du moyeu sur modelleur	2 ISI: mini-projet	<p>Compétences spécifiques</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Communiquer au sein d'un groupe de travail. ● Organiser son travail (groupe et individuellement). ● Répondre à une problématique. <p>Connaissances associées</p> <ul style="list-style-type: none"> – Utilisation d'un modelleur (pièce, assemblage et mise en plan) – Outil d'expression du besoin et de description (CdCF, FAST) – Planification, organisation 	<p>Activités</p> <ul style="list-style-type: none"> – Découverte et description du produit existant d'un point de vue structurel et comportemental par manipulation et démontage, et production d'un document technique synthétique de présentation du moyeu (caractéristiques, avantages...). – Étude du nouveau CdCF. – Modification des pièces sur modelleur 3D (travail individuel). – Regroupement des travaux et vérification de l'assemblage virtuel. – Dessins de définition des nouvelles pièces par mise en plan. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Description fonctionnelle 2. Maquette didactisée 3. Moyeu démontable (mallette) + graphe de montage-démontage 4. Ressource informatique 5. Maquette virtuelle du moyeu 6. Maquette virtuelle du nouveau module de frein à implanter
Détermination expérimentale des performances du moyeu multivitesses Nexus	Première STI	<p>Compétences spécifiques</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Identifier pour une fonction technique sa situation, le flux d'énergie traité par la fonction et la solution constructive réalisant cette fonction. ● Déterminer les caractéristiques cinématiques d'une chaîne de commande réelle accompagnée de données et de plan. <p>Connaissances associées</p> <ul style="list-style-type: none"> – Description fonctionnelle d'une transmission – Rapport de transmission (définition et calcul) 	<p>Activités</p> <ul style="list-style-type: none"> – Par manipulation de la maquette, compléter la description fonctionnelle de deux transmissions : classique et Nexus. – Comparer différentes transmissions et conclure sur leur domaine d'utilisation respectif. – Équiper la maquette de capteur de vitesses. – Représentation graphique des lois entrée-sortie et détermination des rapports de transmission. – Conclusion sur les performances de la transmission Nexus. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Maquettes de la transmission Nexus 2. Documents-ressource sur le calcul d'un rapport de transmission.
Étude de la transmission par train à planétaires	Terminale STI	<p>Compétences spécifiques</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Déterminer les caractéristiques cinématiques d'une chaîne de commande réelle accompagnée de données et de plan. <p>Connaissances associées</p> <p>Transmission par trains à planétaires</p> <ul style="list-style-type: none"> – Principe de fonctionnement – Raison de base – Calcul des rapports de transmission 	<p>Activités</p> <ul style="list-style-type: none"> – Description structurelle du moyeu Nexus par démontage. Identification des différents modules, de l'entrée et de la sortie du module de transmission. – Description comportementale : trajectoire d'un point d'un satellite. Identification des roues menées et menantes et calcul des raisons de base, calcul des différents rapports de transmission. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Moyeu Nexus démontable (mallette) 2. Ressource informatique 3. Ressource sur le calcul d'un rapport de réduction et sur les trains à planétaires
Étude de la transmission Nexus	Première ou terminale SI (Sciences de l'ingénieur)	<p>Compétences spécifiques</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Un dossier technique de mécanisme étant fourni, établir tout ou partie de la note de calcul. OU ● Une modification de produit étant définie par un CdCF, proposer une solution constructive. <p>Connaissances associées</p> <ul style="list-style-type: none"> – Calcul du rapport de transmission pour les trains à planétaires OU – Utilisation d'un modelleur 	<p>Activités</p> <ul style="list-style-type: none"> – Description fonctionnelle par manipulation de la maquette. – Description structurelle du moyeu Nexus par démontage. Identification des différents modules, de l'entrée et de la sortie du module de transmission. – Description comportementale : trajectoire d'un point d'un satellite. Identification des roues menées et menantes et calcul des raisons de base, calcul des différents rapports de transmission. – Réalisation sur maquette virtuelle des modifications nécessaires à l'implantation du module de frein à commande manuelle. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Maquettes de la transmission Nexus 2. Moyeu Nexus démontable (mallette) 3. Ressource informatique 4. Ressource sur le calcul d'un rapport de réduction et sur les trains à planétaires
Quantifier le couple de freinage et valider le frein du moyeu	Bac Pro EDPI	<p>Compétences spécifiques</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Analyser un produit. <p>Connaissances associées</p> <ul style="list-style-type: none"> – Modélisation des actions mécaniques – Frottement – Solutions constructives 	<p>Activités</p> <ul style="list-style-type: none"> – Replacer le produit dans son environnement. – Analyser fonctionnellement le moyeu. – Repérer le cheminement de la puissance pour le frein et les éléments constitutifs du module de freinage. – Étudier le mouvement des mâchoires du frein. – Déterminer le couple de freinage transmissible. – Valider la solution constructive. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Analyse fonctionnelle du moyeu. 2. Le système Nexus en partie démonté 3. Dossier-ressource «Frottement - Adhérence» 4. Arbre de construction sous modelleur 3D 5. Vidéos