

# Les TICE au service de la

FRÉDÉRIC BRUYÈRE, FRANÇOIS RIMBERT<sup>[1]</sup>

*Avec l'arrivée des modélisateurs, l'utilité du schéma cinématique pour illustrer le fonctionnement d'un mécanisme avait perdu de son évidence. Grâce à Schemax, vous pourrez à la fois simplifier et animer la représentation. L'étape permettant de modéliser un réel par une liaison normalisée reste en effet encore du domaine du technicien et de son expérience. Présentation de ce logiciel révolutionnaire et simple d'utilisation, fruit de l'expérience aux niveaux prébac et postbac de ses concepteurs, qui nous en expliquent la genèse, la raison d'être et les possibilités.*

## L'apprentissage du schéma cinématique

L'apprentissage de la norme ISO 3952 est un véritable parcours initiatique : semé d'embûches, ponctué de doutes, d'un brin de mystère, mais incontournable pour obtenir des modèles d'étude simples.

Si, parmi nos élèves, beaucoup arrivent au terme du parcours, certains éprouvent de grosses difficultés à intégrer la démarche et à percevoir les subtilités du langage « schéma cinématique ». L'enseignement de cette norme se faisant sur papier, on débouche sur un curieux paradoxe : on utilise un support figé pour définir des mobilités...

L'empilement de symboles normalisés, sans réelle cohérence avec le système modélisé, que peuvent réaliser certains étudiants a plusieurs origines. On peut identifier plusieurs causes probables :

- La confusion due à la similitude entre certains symboles d'un schéma cinématique et ceux d'un schéma électrique
- La ressemblance entre les représentations de certaines liaisons normalisées (pivot et pivot glissant par exemple)
- La difficulté d'orienter correctement des liaisons pourtant judicieusement choisies

[1] Professeurs agrégés de mécanique, respectivement au lycée Robert-Doisneau de Corbeil-Essonnes (91) et au lycée Charles-Jully de Saint Avold (57).

### Mots-clés

mécanique, modélisation, pédagogie

Comme les symboles représentent les mouvements possibles entre les différentes classes d'équivalence, le schéma peut être partiellement juste, la partie inexacte étant celle de l'agencement des liaisons.

Il y a là encore un paradoxe : les étudiants peuvent comprendre le fonctionnement d'un mécanisme, par la lecture de plans 2D ou par le biais de vidéos et d'animations, modéliser correctement des contacts entre classes et pourtant ne pas parvenir à réaliser le schéma cinématique censé leur amener une meilleure compréhension.

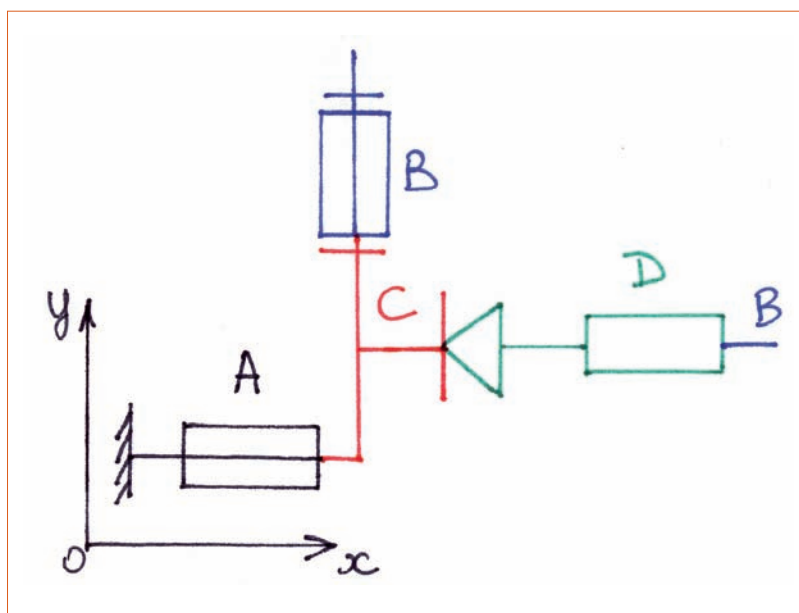
Pour réussir à corriger ce schéma, l'étudiant doit comprendre que le

symbole est constitué de deux parties mobiles l'une par rapport à l'autre : c'est là où le support papier trouve ses limites.

De plus, il est souvent nécessaire de donner une troisième dimension au schéma. Là encore la feuille de papier est un obstacle à la bonne modélisation spatiale d'un mécanisme. L'élève dissocie et confond bien souvent les représentations plane et spatiale d'un schéma, bien qu'il s'agisse du même modèle de liaison représenté de manière différente.

Enfin, comme pour lui rendre la norme ISO 3952 définitivement nébuleuse, le graphe de structure est souvent proposé comme étape indissociable du raisonnement qui aboutit au schéma cinématique. Ce graphe est presque systématiquement perçu comme une étape inutile par l'élève : À quoi sert-il ? Quels parallèles existe-t-il entre le graphe de structure et le schéma cinématique ?

Pendant la réalisation d'un schéma cinématique et particulièrement en phase d'apprentissage, il serait intéressant de disposer d'un outil



1 L'empilement des symboles sans mobilité possible

# modélisation : Schemax

qui aide à résoudre les questions suivantes :

- Comment exploiter le graphe de structure pour aider à la construction du modèle ?
- Comment rédiger un schéma à l'aide de symboles mal connus ?
- Comment visualiser les mobilités d'une liaison et d'un ensemble de liaisons organisées en schéma ?
- Comment améliorer la vue d'ensemble du schéma final ?
- Comment associer un schéma plan et un schéma en perspective (en 3D) ?

## Le constat d'un manque

De nombreux outils existent, la plupart ayant été développés par des professeurs toujours confrontés aux mêmes difficultés sur l'enseignement de la norme ISO 3952.

Parmi eux, la Schématrice **3** de Jacques Riot et Luc Nadalon (logiciel pour Windows téléchargeable sur [www.cnr-cmao.ens-cachan.fr](http://www.cnr-cmao.ens-cachan.fr)) est sans doute le « couteau suisse » du schéma cinématique : d'accès rapide, de prise en main très simple, il répertorie les liaisons normalisées, leurs

mobilités et leurs représentations, offre la possibilité de rechercher une liaison à partir de mobilités identifiées, et *vice versa*.

Si cet outil répond au besoin « caractériser une liaison », il n'apporte pas d'aide pour la phase de construction du schéma cinématique, ni pour la compréhension de la relation entre le graphe de structure et le schéma cinématique.

Schemasoft **4** de David Fournier (logiciel pour Windows téléchargeable sur <http://mecatools.fr>) est un autre challenger : à travers des exercices (ou tout simplement à partir d'une trame vierge), il propose de construire un schéma cinématique en deux phases :

- 1 Modélisation des liaisons, une par une, sur un graphe de structure
- 2 Agencement des liaisons choisies pour construire le schéma cinématique

Le graphe de structure prend alors toute sa dimension dans la phase de travail préparatoire.

Néanmoins, le schéma cinématique final ne pouvant pas être animé, il n'est pas possible de vérifier si le

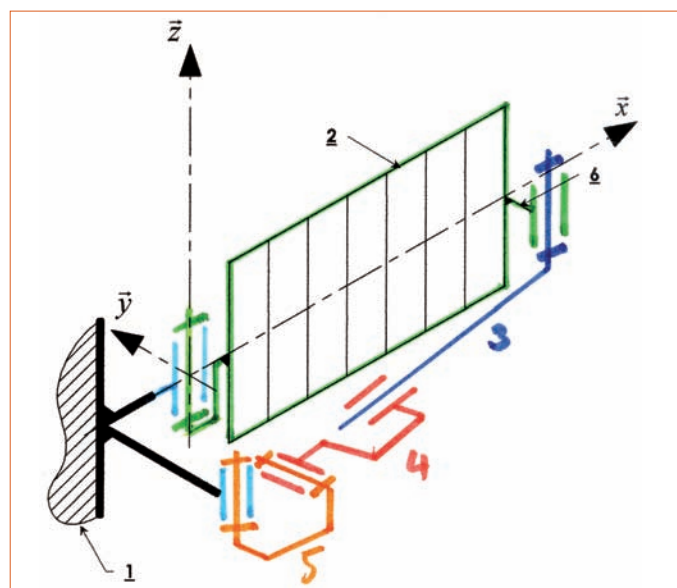
fonctionnement du schéma correspond à celui du système étudié, et ainsi d'appréhender l'intérêt de positionner rigoureusement les symboles – condition indispensable pour s'auto-corriger.

S'il fallait donc décrire les fonctions importantes d'un outil facilitant l'apprentissage du schéma cinématique, nous serions immanquablement tentés de suggérer la possibilité d'assembler des liaisons en trois dimensions, tel un jeu de construction, puis d'animer le résultat, pour en vérifier le fonctionnement en visualisant les mouvements, et permettre une éventuelle étude mécanique.

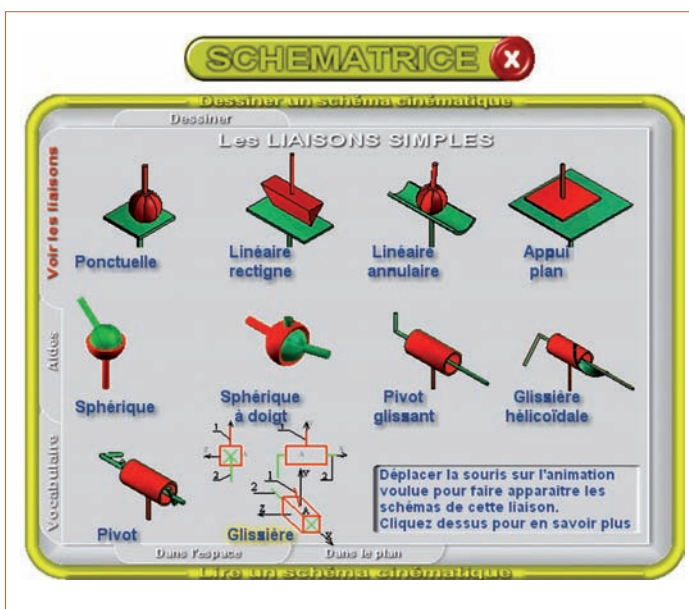
Les indices dispersés dans cette description nous conduisent à choisir le modeleur 3D comme interface graphique pour la représentation des symboles, l'animation et, accessoirement, l'étude mécanique.

## L'ancêtre : Graphes

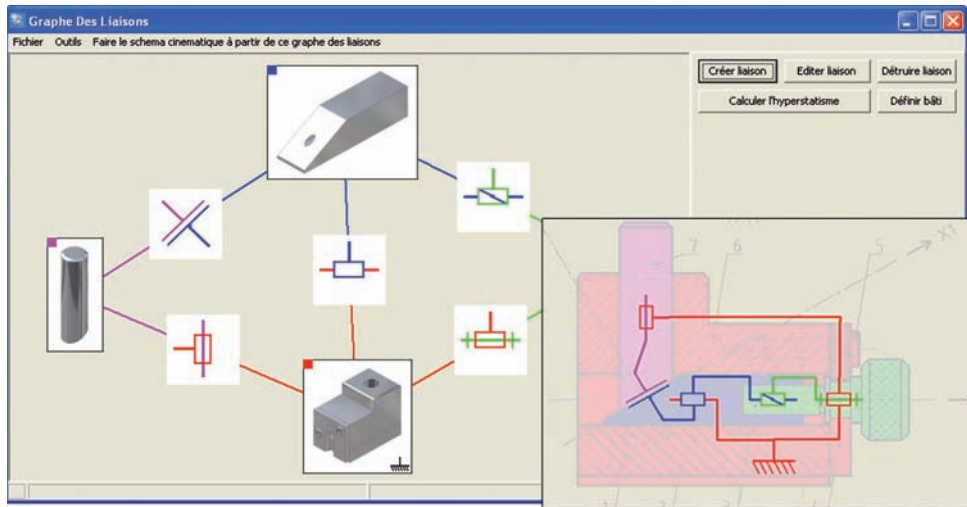
Le graphe de structure permet la définition de base du mécanisme. Si l'on définit totalement les liaisons (nom et caractéristiques géométriques



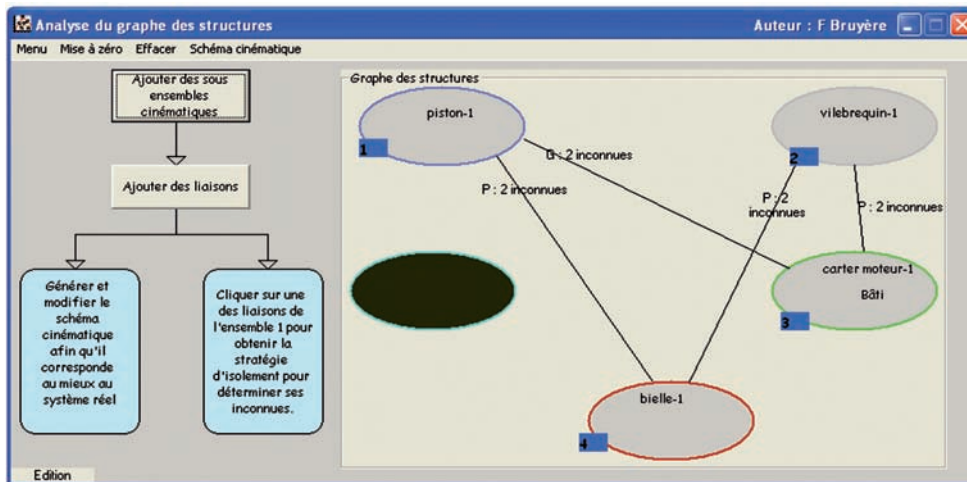
**2** Des représentations planes dans un schéma cinématique en perspective



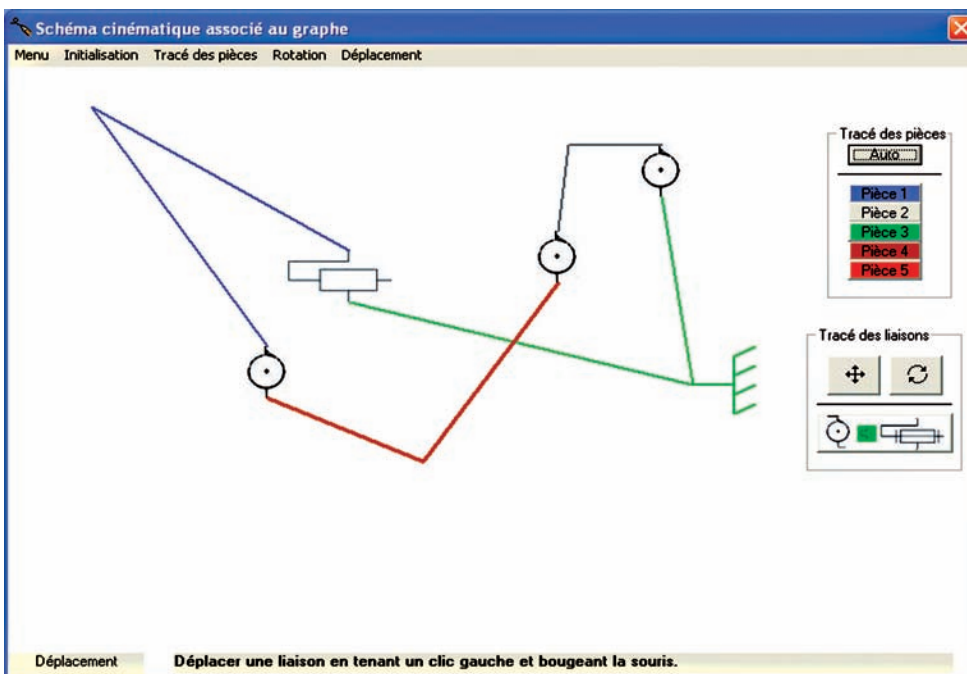
**3** La fenêtre graphique de la Schématrice



4 Un exemple traité avec Schemasoft



5 Le graphe de structure du logiciel Graphes



6 L'ébauche de schéma obtenue avec Graphes

ques), on a tous les éléments en main pour tracer un schéma cinématique convenable.

La difficulté pour les élèves réside dans la compréhension de l'utilité d'une telle représentation. Même s'ils ont la connaissance d'une méthode d'élaboration du schéma et maîtrisent les mobilités des liaisons, le passage d'une modélisation à une autre n'est pas évident.

Les seules possibilités d'apprentissage de l'outil sont les exercices que nous proposons. À travers ceux-ci, la possibilité d'apprentissage par essais/erreurs est difficile, car l'élève devra attendre le corrigé pour valider sa représentation. Malgré tous nos efforts pour apporter une correction progressive et donner des méthodes de tracé, la rétroaction est trop longue. Expliquer à chaque élève, en direct, les erreurs commises lors de la réalisation du schéma est une prouesse. Le risque est la démotivation rapide due à l'impression d'être jugé lors de la phase d'apprentissage, où le droit à l'erreur est primordial.

Quand ce genre de cas se présente, il est possible de créer des didacticiels.

Ces derniers permettent justement d'éviter les travers d'une correction en classe. Il n'y a pas de jugement ; il est moins grave que ce soit l'ordinateur qui relève une erreur plutôt que l'enseignant. L'autocorrection peut alors être réalisée, et l'élève peut construire petit à petit une représentation conforme à nos attentes.

Il nous fallait donc un logiciel capable d'assister l'élève dans sa traduction du graphe de structure en schéma cinématique. Ce fut, avant Schemax, l'application Graphes.

Nous utilisons au début un logiciel permettant d'aider à ordonner les isoléments en présence d'un graphe de structure. Il fut complété pour prouver à des élèves de terminale sceptiques que la réalisation du schéma cinématique à partir du graphe de structure était une tâche tellement automatique qu'elle pouvait être effectuée par un ordinateur.

On renseignait le graphe de structure avec le type des liaisons 5,

ce qui permettait d'accéder à une interface livrant une ébauche de schéma **6** qu'il fallait retravailler en positionnant et en orientant les symboles **7**. Pour aider l'élève à la réalisation de cette tâche, il était possible d'insérer une image du mécanisme en fond.

Cependant, le rendu plan ne suffisait pas. Pour donner tout son sens descriptif au schéma, il fallait pouvoir l'animer. Mais donner cette possibilité d'animation dans le didacticiel nous aurait fait dépasser très largement le temps que nous avions à allouer au développement de ce genre d'outils... Tandis qu'animer une esquisse dans SolidWorks est chose aisée. La solution était là : nous allions tracer un schéma dans SolidWorks, qui s'occuperait alors de l'animation.

### Premières applications avec Graphes

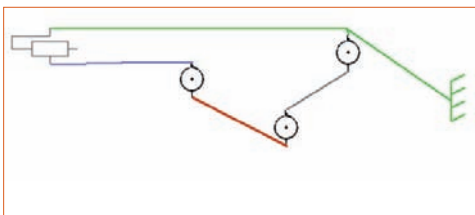
Les premiers résultats furent satisfaisants : pour des cas simples **8**, tout s'animait assez bien.

L'utilisation de cette application nécessitait de modifier la manière d'aborder le sujet en classe. Plutôt que de faire apprendre par cœur les symboles et mobilités des liaisons, d'enseigner le graphe de structure et le schéma cinématique, ces outils furent introduits à travers une séance de travaux pratiques.

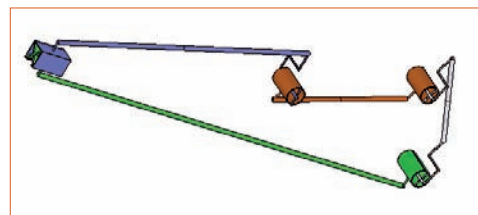
Au cours de cette séance, présentée comme un challenge, des élèves de première STI génie électronique avaient à concevoir des mécanismes sous la forme de schémas cinématiques. Comme ils avaient tous suivi un enseignement d'ISI en classe de 2<sup>de</sup>, ce chapitre leur était déjà connu, et une présentation du logiciel avait été effectuée sous forme d'activité lors d'une séance précédente.

Les règles étaient simples : à partir d'un cahier des charges commun à toute la classe, chaque élève devait produire sur modèleur un schéma cinématique spatial. Des points étaient donnés aux premiers élèves ayant produit un travail valide.

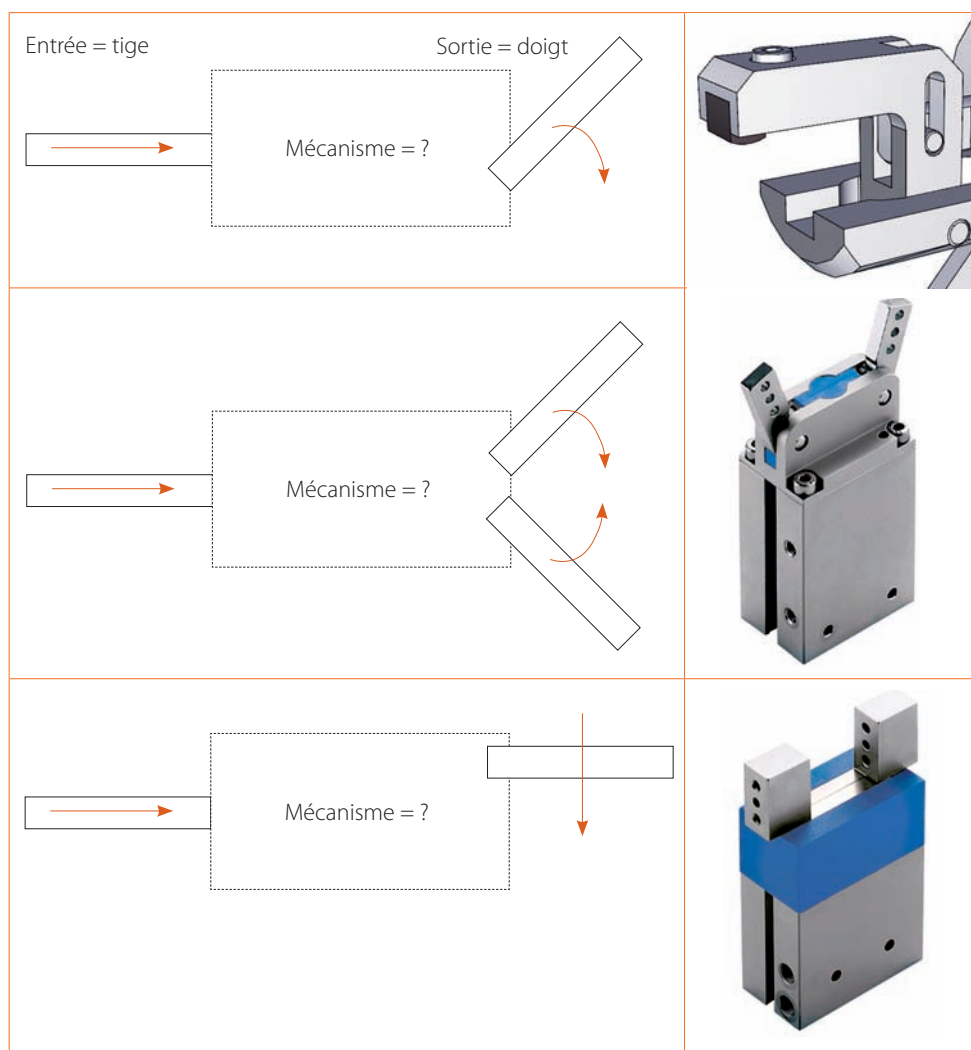
Les systèmes à concevoir étaient les suivants : réaliser tout d'abord des



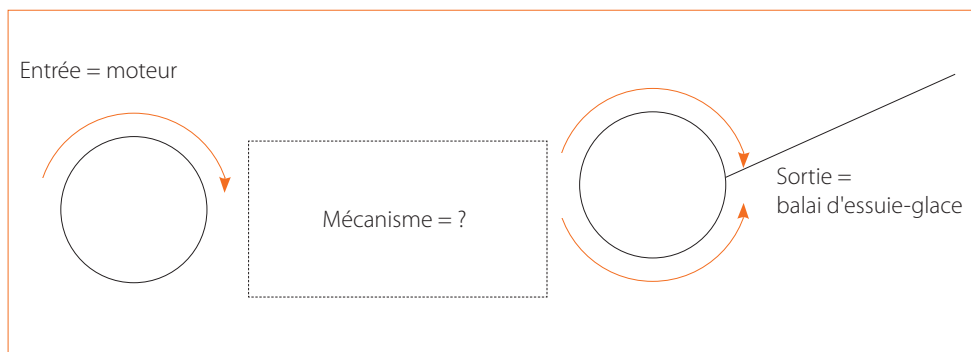
**7** La correction de l'ébauche par positionnement et orientation des symboles



**8** Le schéma d'un cas simple obtenu avec Graphes



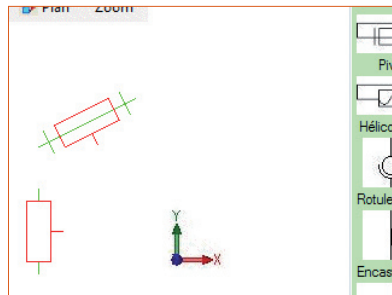
**9** Les pinces à concevoir



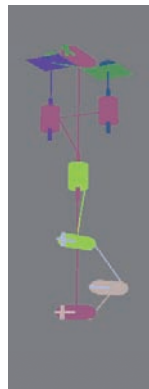
**10** Le principe d'une timonerie d'essuie-glace



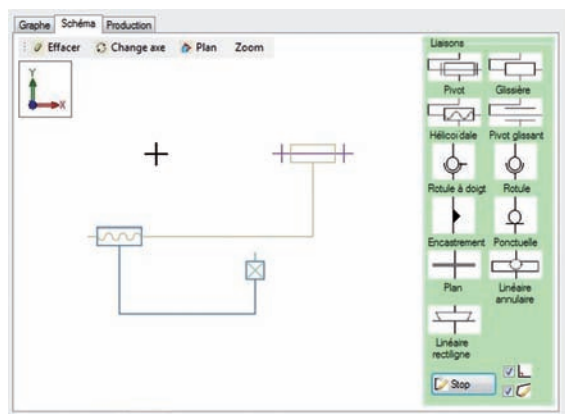
12 La création dans le graphe de structure



13 La visualisation dans le plan

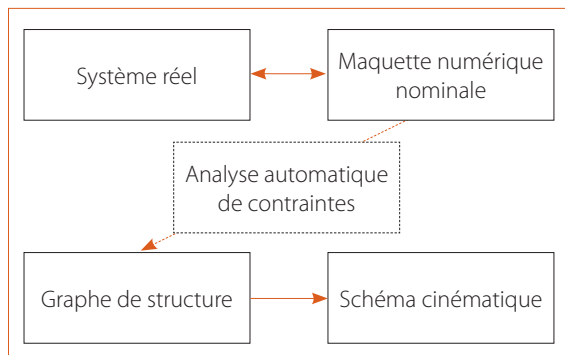


11 La prévisualisation 3D dans Schemax

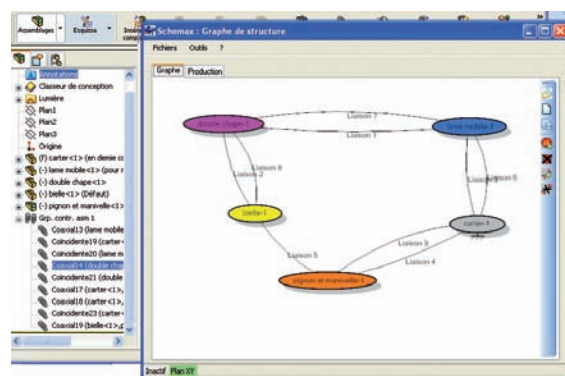


Placer les points du solide Plan XY

14 La création directement dans le plan



15 Le principe de création d'un graphe de structure



16 La racine de l'assemblage

pinces 9 avec en entrée le mouvement de translation d'une tige de vérin et en sortie différents mouvements d'un ou plusieurs doigts, puis une timonerie d'essuie-glace 10 avec en entrée le mouvement de rotation continu d'un arbre moteur et en sortie la rotation alternative du balai.

Pour gagner, les élèves devaient tester des liaisons, mémoriser leurs mobilités et comprendre le lien entre graphe de structure et schéma cinématique. Outre que l'activité était présentée sous la forme d'un défi, la finalité n'était pas de réaliser une modélisation, mais véritablement de concevoir la structure d'un mécanisme.

Puis, une fois les solutions trouvées, la classe avait à déterminer un mécanisme produisant ces mouvements mais comportant le moins de liaisons possible 9.

### Le bilan

À court terme, les résultats furent très concluants, car tous les mécanismes avaient été déterminés. Cela aurait été absolument impossible sans ce logiciel facilitant grandement les allers-retours d'un modèle à l'autre.

À moyen terme, au cours des évaluations sommatives, aucun élève n'avait fait d'erreur grossière de compréhension du tracé cinématique. Certes leurs schémas n'étaient pas parfaits, mais son utilité était comprise.

La pertinence de l'outil était alors démontrée. Cependant, quelques problèmes subsistaient :

- Seuls les cas plans avec au maximum 5 sous-ensembles et seulement 1 liaison possible entre sous-ensembles pouvaient être traités.

● L'utilisation de Graphes par d'autres collègues était assez difficile, car il fallait en connaître toutes les ficelles pour le faire fonctionner dans sa salle de classe.

Le choix du modeleur comme interface graphique s'est avéré payant, car il permet :

- une interaction du schéma avec des logiciels de simulation mécanique ;
- une modification du schéma et l'habillage manuel avec les outils du logiciel de CAO ;
- le changement facile du rendu 3D.

Il fallait donc construire un nouvel outil pour pouvoir aller plus loin : Schemax.

### La genèse de Schemax

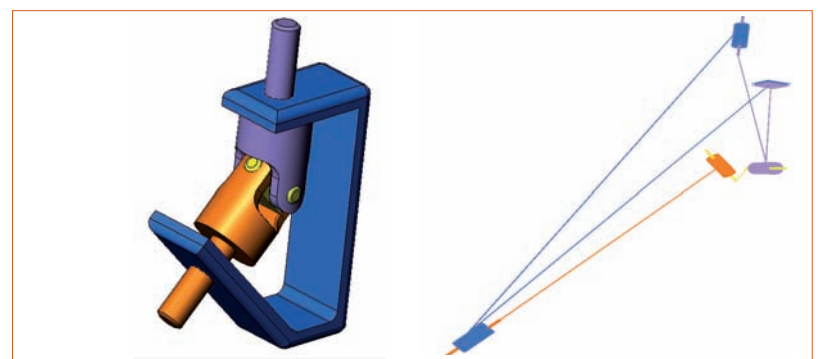
Avant de créer Schemax, nous avons rédigé un nouveau cahier des charges : ● Créer des schémas dans différents modeleurs (Inventor, Solidworks et Catia V5).

- Tracer le schéma cinématique d'une maquette en utilisant le format de sauvegarde du logiciel de simulation dynamique Decade ([www.decade-dynamics.org](http://www.decade-dynamics.org)) de Thomas Paviot.

Sa stratégie de tracé initiale : créer un schéma cinématique dans un modeleur à partir d'un graphe de structure.

Contrairement au logiciel précédent, le passage du graphe de structure au schéma volumique est direct. Il n'est plus utile d'orienter et positionner les liaisons en représentation plane. Cela nécessite donc une définition complète des liaisons en une seule étape.

Une seconde expérience menée avec des élèves de première année de BTS CPI, en utilisant une première



17 Le rendu Schemax d'un joint de cardan

version de Schemax, permet, grâce à leurs remarques, de comprendre que la construction entière du schéma à partir du graphe de structure était trop difficile et qu'elle nécessitait, au préalable, un tracé plan sur feuille de brouillon. La construction du schéma dans le modeleur pouvant durer plusieurs minutes, les élèves baissaient rapidement les bras lorsqu'ils s'apercevaient, après cette attente, qu'ils avaient mal défini ou mal orienté une liaison.

Cela nous conduisit à ajouter de nouvelles possibilités :

- la prévisualisation 3D, qui permet d'apercevoir instantanément le rendu qu'aura le schéma dans le modeleur 14 ;
- la construction et la prévisualisation dans le plan (en cours de réalisation au moment de la rédaction de cet article), qui permettra de voir le schéma issu du graphe de structure dans le plan 12 13 ou de créer un schéma directement avec les outils appropriés 14 ;
- l'analyse de contraintes par création d'un graphe de structure (pour l'instant seulement avec SolidWorks) 15.

*Remarque :* Cette procédure d'analyse n'est pas aussi automatique qu'on le souhaiterait, car elle se heurte aux problèmes de règles de construction de la maquette. Afin que celle-ci soit valide, il est primordial qu'elle soit construite en respectant les points suivants :

- Une contrainte représente un contact réel et est traduite comme une liaison.
- À la racine de l'assemblage, il n'y a que des pièces ou sous-ensembles faisant partie de sous-ensembles cinématiques distincts 16.

L'exemple d'un rendu Schemax issu de l'analyse d'une maquette de joint de cardan (exemple disponible avec Decade) est donné en 17.

Grâce à la compatibilité Decade-Schemax, la création du schéma cinématique est aussi possible sans analyse de la maquette à partir du moment où l'on dispose d'une analyse Decade.

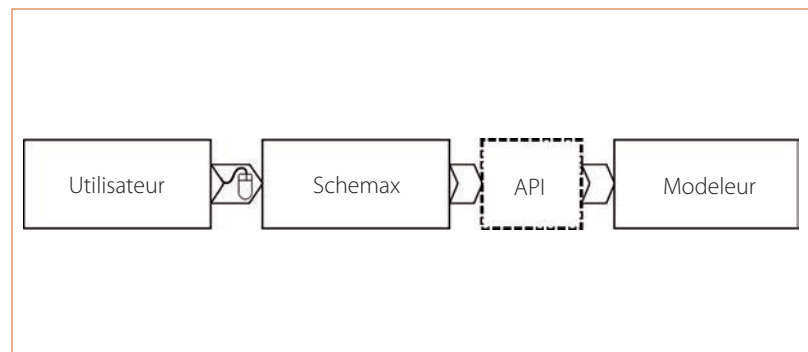
**Comment ça marche ?**

La première difficulté a été de dompter l'API (*Application Programming Interface*) des modeleurs : c'est une boîte noire informatique qui permet de téléguider une application par une autre application. Chaque logiciel a une API bien spécifique.

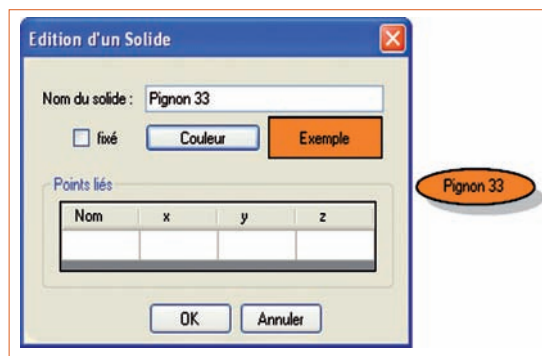
Les utilisateurs des modeleurs savent que ces applications sont exigeantes quant à leur utilisation : la rigueur, la patience et la persévérance sont incontournables pour parvenir à un résultat acceptable, même si leurs interfaces tolèrent de mieux en mieux une utilisation intuitive. Dans ces conditions, remplacer l'utilisateur par un logiciel est un exercice d'autant plus difficile que nous nous étions fixé un cahier des charges ambitieux : la construction du schéma cinématique devait être le plus transparente possible 18.

Le nombre de versions de chaque modeleur et leurs spécificités n'ont fait qu'aggraver les difficultés. Si bien qu'il a fallu une véritable horlogerie informatique pour atteindre l'objectif : un clic pour un schéma.

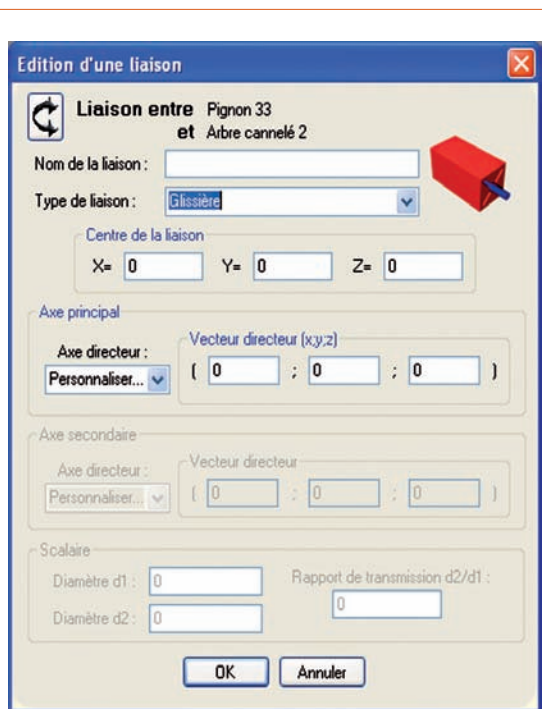
L'autre difficulté, autrement plus abordable pour des enseignants de construction mécanique, était de définir les informations minimales à fournir



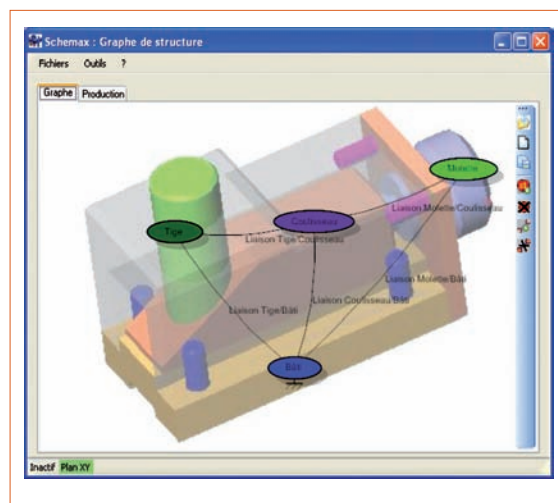
18 Le principe de pilotage du modeleur par Schemax



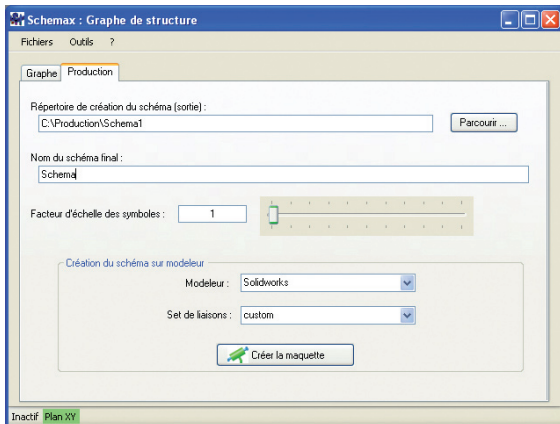
19 Une bulle colorée représente la classe d'équivalence cinématique



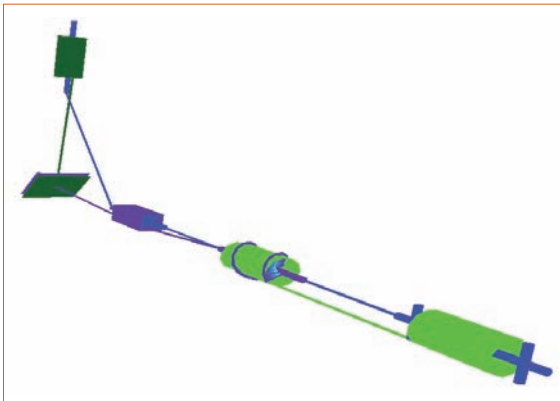
20 La fenêtre de saisie des caractéristiques géométriques de chaque liaison



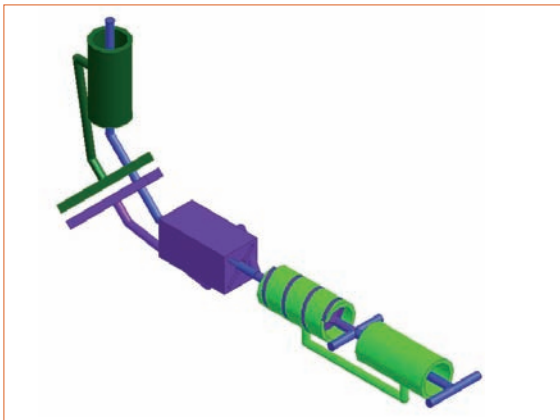
21 La construction du schéma cinématique



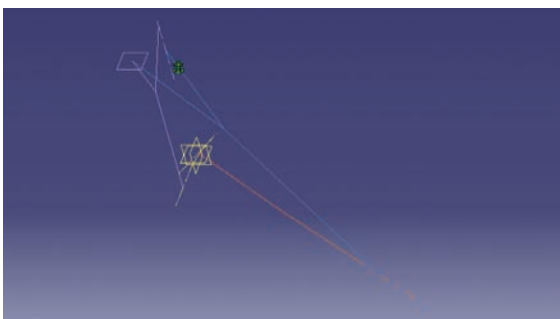
22 Les éléments de gestion des fichiers



23 La prévisualisation de la maquette 3D



24 Le pilotage du modèleur 3D pour la construction du schéma cinématique



25 Un squelette Schemax

par l'utilisateur pour créer son schéma cinématique.

Les classes d'équivalence cinématique sont nommées et réduites à une bulle colorée. Il n'est pas nécessaire de fournir d'autres données. Les couleurs choisies par l'utilisateur pour chaque groupe de pièces seront utilisées par l'application pour construire la maquette 3D 19.

L'utilisateur décrit les liaisons une à une, en fournissant les caractéristiques géométriques de chaque liaison : type de liaison, position spatiale du symbole de la liaison, axe(s) caractéristique(s), et éventuellement, un scalaire permettant de définir, par exemple, un rapport de transmission. 20.

Une fois le graphe de structure construit, le logiciel dispose de tous les éléments théoriques nécessaires et suffisants pour construire le schéma cinématique 21. Restent à fournir quelques éléments de gestion des fichiers et des consignes cosmétiques pour le modèleur 22.

Schemax intègre donc la possibilité d'ébaucher la maquette 3D. L'utilisateur peut prévisualiser 23 l'allure du schéma avant d'en lancer la construction complexe sur le modèleur en cliquant sur le bouton « Créer la maquette ». Il ordonne alors à l'application de piloter le modèleur 3D pour construire la maquette du schéma cinématique. Cette construction peut être plus ou moins longue, suivant la quantité de liaisons impliquées, la complexité globale du schéma ciné-

matique et la configuration matérielle de l'ordinateur 24.

Le résultat n'est pas qu'esthétique sur le modèleur : le schéma peut être manuellement animé ! Les mouvements relatifs deviennent alors évidents ; le fonctionnement global du système est clair. La maquette peut être emportée sur un support (clé USB, CD...) et réutilisée à l'infini. Le fichier de données saisies sur Schemax peut, lui aussi, être partagé : il est de petite taille et permet au destinataire de reconstruire le schéma sur le modèleur de son choix.

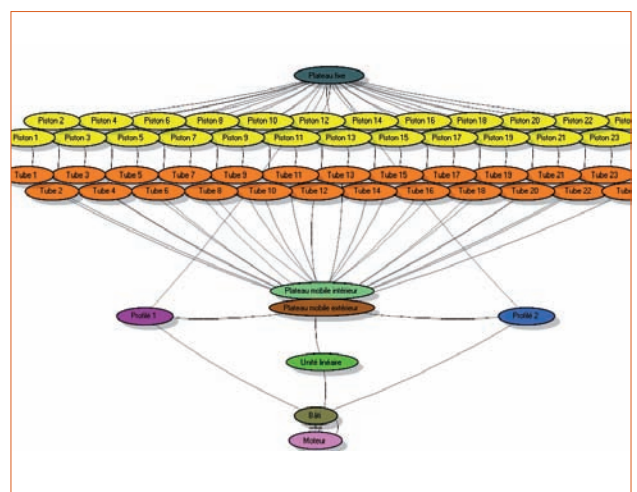
Le prix de cette flexibilité est l'irréversibilité : Schemax peut agir sur le modèleur, mais seulement en boucle ouverte. Le logiciel ne vérifie pas si la construction de la maquette s'est bien déroulée, il ne modifie pas non plus la maquette obtenue. Si bien qu'en cas de modification du schéma initial, même infime, il faut demander à l'application de recommencer une nouvelle construction de schéma cinématique. Ces itérations peuvent se montrer rebutantes pour l'utilisateur qui tâtonne !

**Pour aller plus loin en BTS CPI**

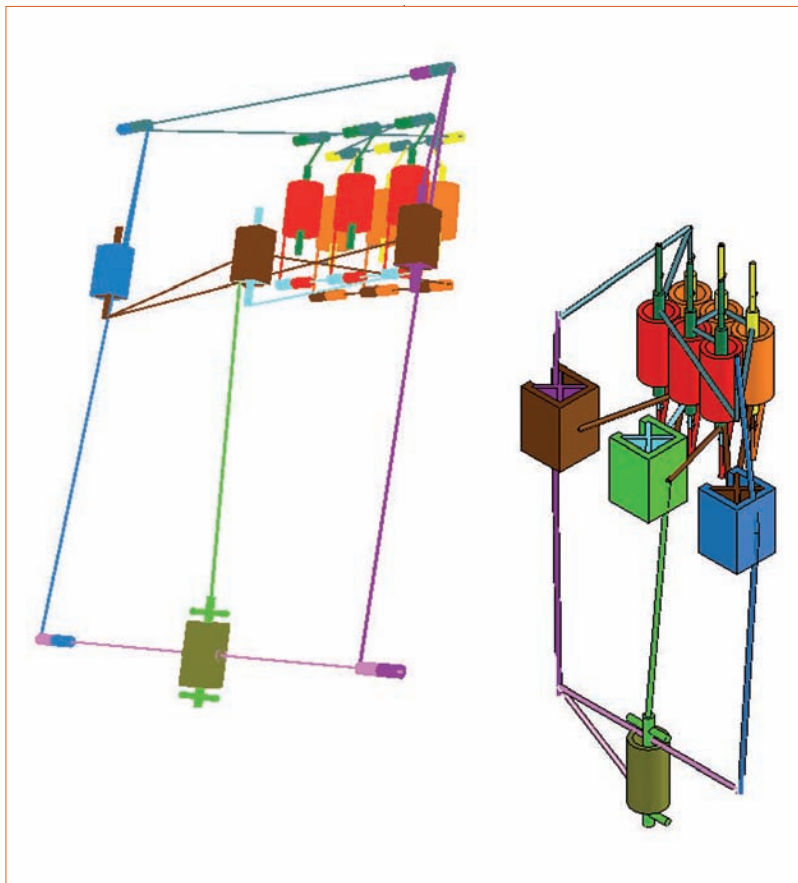
Progressivement, nous nous sommes rendu compte que le schéma cinématique sur modèleur volumique permettait bien des activités de conception mécanique. Pour assister les élèves et donner du sens à l'activité préliminaire de modélisation, Schemax s'est



26 Un jeu de paramètres



27 Un graphe de structure réalisé par des élèves en projet de BTS



28 La prévisualisation et le schéma obtenus en BTS

alors étendu. Voici deux exemples d'application possible :

#### ● La conception de mécanismes

L'interopérabilité de format entre Schemax et le logiciel de simulation dynamique Decade permet de conduire rapidement une analyse sur une maquette de schéma cinématique. Cela permet de déterminer des dimensions de pièces par itérations entre une conception à l'aide de Schemax et une vérification par Decade.

#### ● La création de squelettes

Afin de construire des modèles numériques bien structurés, on passe souvent par un squelette paramétré. Ce squelette n'est autre qu'une représentation différente du schéma cinématique.

Sa réalisation posait de véritables problèmes aux élèves de BTS CPI. Cette activité est si longue et fastidieuse pour un étudiant encore peu habile avec un modeler qu'elle en perd tout son sens. Nous faisons habituellement le parallèle

entre le schéma cinématique de l'ensemble à construire et son squelette 25, alors pourquoi ne pas construire la maquette directement sur le schéma cinématique de Schemax ?

Petit à petit, la fonctionnalité s'est étoffée et offre maintenant la possibilité sur Catia V5 de modifier les positions des liaisons à l'aide d'un jeu de paramètres 26. Les pièces et symboles sont représentés de manière filaire et tout est déjà contraint.

Même si en pratique il faudra modifier un peu le squelette et ajouter quelques paramètres, le gain de temps est considérable. Si la structure du mécanisme est déjà déterminée au brouillon, il ne faut qu'une vingtaine de minutes pour produire un squelette comportant une dizaine de sous-ensembles.

Un exemple de graphe de structure réalisé de façon autonome par des élèves en projet de BTS est donné en 27 ;

le schéma obtenu, en 28. ■

→ DONNEZ DE L'IMAGE A VOS COURS !

→ **lesite.tv**

SUR INTERNET, PLUS DE 2 500 VIDEOS...

- LIEES AUX PROGRAMMES SCOLAIRES,
- ET ACCOMPAGNÉES DE DOCUMENTATIONS PÉDAGOGIQUES,

POUR STRUCTURER UN COURS, ILLUSTRER UN EXPOSÉ OU EFFECTUER UNE RECHERCHE DOCUMENTAIRE.

POUR EN SAVOIR PLUS

→ **www.lesite.tv**

▶ N° Indigo 0 825 852 853  
0,15 € TTC / MN

OU AUPRES DE VOTRE CRDP

GE LESITE-TV - RCS MANTERRE 480 392 257 - PHOTO © PHOTOUSC - 07/09

Logo République Française  
Logo Éducation Nationale  
Logo Culture Communication  
Logo SGETÉD [CNDP - CRDP]  
Logo France 5