

Journées du GPEAA du 8 au 10 octobre 2015

« Expérimentations en 3D comme support pédagogique »

1. PRÉAMBULE

a. **Pour rappel : Comment est arrivée la 3D à l'INJA** : j'avais initié un projet en Histoire pour une classe de seconde « aménagée ». A savoir un dispositif qui permettait à des élèves travailleurs et investis dans leur scolarité mais présentant des points de fragilités (domaine scientifique ou les productions écrites) d'intégrer une seconde générale en deux ans avec la possibilité la première année de profiter d'aide méthodologique renforcée dans un des deux domaines. Il m'est apparu anti pédagogique de faire un programme en deux ans. Aussi, j'ai proposé à la direction de l'INJA un projet pour cette classe qui reprenait le découpage chronologique et les thèmes du programme de seconde mais à partir de l'Histoire de Paris ce qui permet de couvrir l'Antiquité jusqu'à nos jours. Il s'agissait également de ponctuer l'année de sorties pédagogiques à la découverte des monuments de Paris. Je me suis mis à la recherche de maquettes, objets... qui auraient pu permettre une meilleure compréhension, lecture et donc représentation d'objets échappant à la préhension manuelle ou haptique. C'est ainsi que je me suis rapproché du Petit FABLAB de Paris. J'avais l'idée dès le départ d'associer les élèves au processus de création. Nous avons décidé de créer une carte interactive de Paris en 3D.

Par la suite, il avait été prévu de lancer une production de monuments parisiens. Laurent PAVOT responsable de ce Fablab a permis la création en acceptant notre projet d'une carte puzzle en 3D de Paris. Elle représente les différentes extensions de la ville à travers les époques. Cela nous a permis de nous familiariser avec les techniques de la découpeuse Laser et de l'impression 3D. La direction de l'INJA s'est

montrée très vite enthousiaste et s'est portée acquéreuse d'une Makerbot Replicator 2. Laurent Pavot est ensuite venu faire son stage dans le cadre de son diplôme à l'INJA. Ce qui a permis de mener à bien d'autres projets.

b. L'impression 3D à l'INJA: (DIAPO) photos imprimante INJA :

i. Remarques générales :

Pour des raisons budgétaires l'INJA n'a pas pu acquérir de découpeuse laser comme ce fut un temps évoqué. Néanmoins, le fruit de notre expérience et de notre collaboration avec le FABLAB nous fait dire que les deux machines sont complémentaires. L'idéal serait également de disposer d'une fraiseuse.

- La découpeuse laser permet de faire du relief par superposition de plaques. Le matériau n'est pas cher, le prototypage aisé et rapide. Par contre, plus la découpe est complexe plus l'usinage est long. L'épaisseur des plaques ne peut pas dépasser plus de 6 mm, le braille est difficilement gravable ; d'une manière générale l'impression en creux est rendue difficile.
- L'imprimante 3D permet de créer des objets en volume. Creux ou plein. Le temps d'usinage peut être long en fonction de la complexité de la pièce. Le volume de la pièce ne peut pas excéder certaines dimensions environ 15 cm. (hauteur et largeur)

Aussi, les deux machines ne sont pas concurrentes mais se complètent.

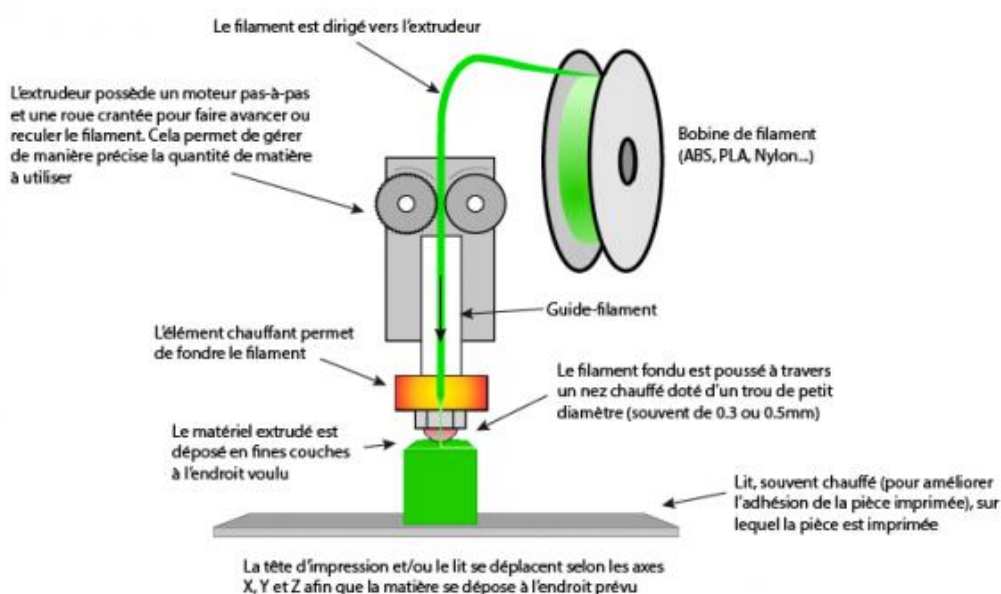
Ex: un support en creux gravé par la découpeuse laser et des éléments imprimés en 3D pour des puzzles, des cartes ... Ce qui semble particulièrement intéressant, c'est que l'une comme l'autre des machines permettent de penser à des objets 3D par assemblage (molécules à construire, objets dépliés à rassembler...) ce qui permet d'imaginer de nombreuses applications pédagogiques engageant des manipulations d'élèves.

ii. principes de fabrication de la Makerbot Replicator : Le dépôt de filament fondu.

Plus connue sous l'acronyme FDM (Fused Deposition Modeling), cette méthode a vu le jour il y a une trentaine d'années grâce à S. Scott Crump, cofondateur de la société Stratasys qui a racheté MakerBot Industries en 2013. FDM étant une marque déposée, d'autres appellations sont utilisées, par exemple Fused Filament Fabrication, utilisé dans la communauté RepRap sous licence libre.

Il s'agit du procédé utilisé par une écrasante majorité d'imprimantes 3D dites personnelles. Son principe de fonctionnement est simple : un matériau, souvent présenté sous forme de bobine, passe à travers une buse d'extrusion chauffée entre 170 et 260°C. Il fond et se dépose sur un support par couches dont la finesse varie en fonction du matériel et des réglages (0,02 mm en moyenne). Une fois la première couche terminée, le plateau d'impression descend pour recevoir la seconde et ainsi de suite. Les contraintes étant le temps d'usinage relativement long et les mesures ne pouvant excéder la taille du plateau. (Environ 17/20 cm)

Principe de fonctionnement d'une imprimante 3D FFF (Fused Filament Fabrication)



Adapté de : <http://www.thingiverse.com/thing:29432> par edurobot.ch

iii. coûts

En plus d'être très abordable — comparée aux autres procédés — la FDM permet d'utiliser une grande variété de matériaux et de couleurs. Les pièces produites par l'INJA n'ont pas excédé 2€.

2. EXPERIMENTATIONS MENEES A L'INJA

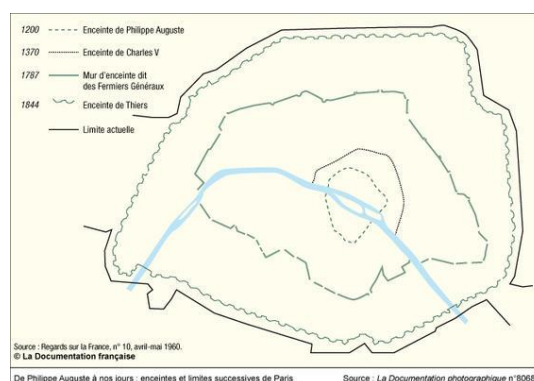
EN HISTOIRE : SE REPERER DANS LE TEMPS ET L'ESPACE

a- L'extension urbaine de Paris à travers les âges : construire des connaissances historiques : maquette-puzzle

- i. **PROJET** : Il s'agissait d'un projet mené conjointement avec le Petit Fablab de Paris. Mon projet était de permettre aux élèves de comprendre comment l'espace de la ville de Paris a été profondément marqué par l'édification des différentes enceintes mais aujourd'hui complètement disparu. Il ne reste que les grands axes de circulation qui reprennent le tracé des enceintes. Ce projet d'adaptation s'inscrivait dans un projet pédagogique mis au point pour une classe de seconde aménagée qui s'intitulait : L'Histoire de Paris, une histoire monumentale. A savoir, rendre compte de l'histoire de la ville et ponctuer l'étude de chaque période historique par la visite d'un monument emblématique.

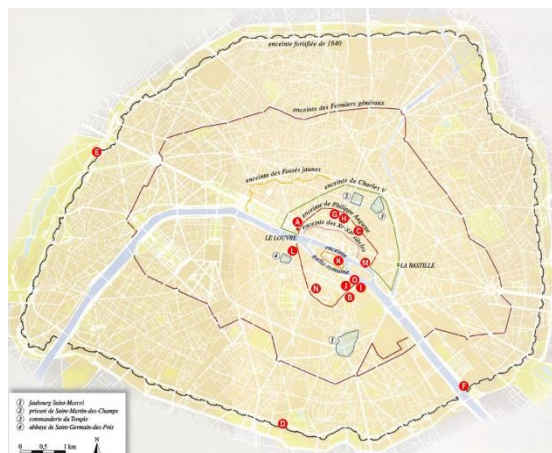
Carte 3D : Plusieurs objectifs donc :

1. Rendre compte de l'extension urbaine à travers les âges : **cartes des différentes enceintes**

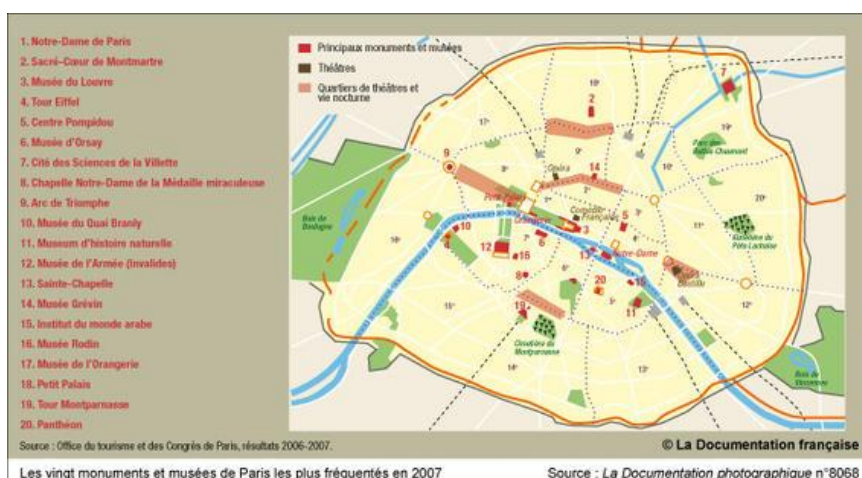


2. Parvenir à spatialiser une information historique dans un environnement proche.

Carte des enceintes + grands axes



3. Parvenir à localiser un monument témoin de l'histoire de la ville dans le temps et l'espace : à savoir être capable de le repérer dans le Paris d'aujourd'hui et de le rattacher à une époque précise.



- ii. **DISPOSITIF** : Plan maquette qui a été retenu. Cela a permis de se familiariser avec deux technologies : la découpeuse laser et l'imprimante 3D.

Plusieurs avantages :

1. Possibilité de créer des « niveaux d'informations » par superposition de plaques. Les grands axes ont été retenus et notamment ceux reprenant le tracé des enceintes. Il a été choisi de localiser certains des monuments parisiens ; des gares ; des parcs. Les deux derniers étant des espaces connus de nos élèves.
2. A terme, le caisson devait abriter un Arduino qui devait lancer des pistes sonores à l'endroit des monuments ; gares... cela permet d'éviter une

surcharge d'information tactile et de se concentrer sur la spatialisation des informations.

3. En niveau supérieur, un jeu de plaques reprenant les différentes extensions de la ville et de ses murailles. L'impression 3D a permis d'enrichir l'information. Il ne s'agit plus seulement d'une plaque avec une texture ou bien évidemment d'une texture en 2D comme c'est le cas dans le DER mais avec l'épaisseur que permet l'impression 3D on peut faire figurer tout à la fois :
 - une texture : qui renvoie vers une information légendée. Ici la date et l'époque de la construction.
 - des informations concernant le bâti lui-même qui renvoie par ailleurs à des informations d'ordre historique : enceinte avec tours rondes pour l'époque médiévale ; les propylées pour le mur des fermiers généraux ; les avancées des « fortifs » de l'enceinte de Thiers...
 - de la couleur qui renforce l'information pour les MV ;
 - une épaisseur suffisante qui permet une exploration tactile de qualité et donc l'élaboration d'une image mentale précise et une meilleure mémorisation

iii. OBSERVATIONS

- Ordinairement avec le 2D et les cartes adaptés, la personne doit recomposer à partir des strates de l'adaptation une information globalisée. Avec ce dispositif, il peut enrichir au fur et à mesure et sans changer de support ses connaissances.
- Il peut dans un même temps :
 - accéder à une information historique (dans le temps) et qui témoigne d'une évolution : la carte devient d'une certaine façon dynamique. Il peut spatialiser des informations et procéder à une lecture « horizontale » (à plat de la carte)
 - il peut situer des informations en rapport avec un autre niveau d'information : lecture verticale. L'empilement se fait sur le même support. Et non plus par recombinaison à posteriori. Il est amené à situer des informations et à les mettre en relation les unes par rapport autres.

- De plus, il est placé au cœur de l'action pédagogique. Il construit un savoir. L'observation de la manipulation reste une source déterminante pour apprécier la manière dont la personne s'approprie et construit un savoir. C'est également un temps d'échange pendant lequel des questions émergent.
- Le socle du puzzle fournit une information permanente. D'autres jeux de puzzle (les arrondissements ; les zones inondables ; le relief...) peuvent être imaginés.

b- Maquette du Château de Versailles : appréhender un volume « monumental »

- i. DISPOSITIF :** il s'agissait de permettre aux élèves lors d'une sortie au château de Versailles de se déplacer avec une maquette transportable.
- La production de la maquette n'a pas demandé un travail fastidieux. Elle a été récupérée sur une plateforme avec des fichiers numériques imprimables libres de droit : THINGIVERSE
- On a pu choisir :
 - la taille : transportable
 - la couleur
 - le niveau de détail

ii. OBSERVATIONS :

- Situation tout à fait inédite de se retrouver avec une maquette transportable. Ordinairement, les visites se font avec des supports DER difficilement exploitables sur place ou bien partir de maquettes fixes exploitables seulement sur place.
- L'élève a pu se situer dans les lieux au fur et à mesure de la visite. C'est un exercice de représentation mentale et spatiale en direct. C'est la possibilité pour lui de toucher et se déplacer dans un monument et dans le même temps se repérer dans le plan.

EN PHYSIQUE-CHIMIE : 3 EXEMPLES QUI RENVOIENT CHACUN A TROIS CATEGORIES D'OBJETS IMPRIMÉS EN 3D ET QUI EXPLOITENT CHACUN DES COMPETENCES DIFFERENTES DE LA REPRESENTATION MENTALE

a. Le tube réfrigérant à eau : l'approche procédurale :

- C'est un exemple pertinent du point de vue de l'approche pédagogique. L'élève est placé dans la situation de devoir comprendre et construire des connaissances disciplinaires.
- Au niveau du lycée, il y a des attendus dans le programme de Physique-Chimie comme celui d'étudier la maquette d'un montage à reflux. Exemple : montage d'une distillation ou d'une synthèse d'une espèce chimique.
- Objet : Tube en verre composé de deux parties dont l'une à l'intérieur qui peut se voir par transparence. Or, les élèves de l'INJA n'ont pas accès à cette observation qui est indispensable pour comprendre le principe de cet instrument. (niveau 5ème, 2nd, 1èreS et TS)
- Les difficultés des élèves : mauvaise représentation du montage en verrerie « classique » car ils percevaient la complexité de l'objet réel à partir des seuls dessins en relief des vues en coupe longitudinale du tube réfrigérant. Le résultat était une mauvaise compréhension du mécanisme et du mouvement général.
- Le dessin en coupe oblige une mise à niveau des différents éléments du tube : l'intérieur et l'extérieur sont sur le même plan. La perception d'un contenant à l'intérieur d'un autre contenant peut-être très difficile pour certains élèves. D'autant que les vues en coupe rendent compte d'un contour de l'objet mais pas de sa profondeur. L'étayage et le guidage du professeur ne peut suffire à rendre compte de la réalité de l'objet. La compréhension que deux liquides chacun dans un contenant possédant chacun un circuit à travers l'objet complexifie la compréhension du montage d'une distillation ou d'une synthèse d'une espèce chimique.

i. DISPOSITIF 3D :

- La maquette est de deux couleurs : l'extérieur bleu (simule la partie froide du dispositif) et l'intérieur rouge (simule la zone dans laquelle circulent les vapeurs chaudes).
- La maquette étant robuste et imperméable, on peut simuler le passage de l'eau à l'aide d'une pissette. L'élève peut ensuite toucher à l'intérieure de la maquette le

chemin parcouru par l'eau et en déduire la position de l'entrée de l'eau froide et la position de la sortie.

- La maquette est démontable de manière à introduire petit à petit les éléments de la verrerie : commencer par le tube central (vapeurs) puis accrocher le tube périphérique.

ii. OBSERVATIONS :

- Or, il n'existe pas dans le commerce des supports pédagogiques de maquette des montages. Ici l'impression 3D a rendu possible un triple enrichissement:
 - i. Au niveau de l'image mentale: l'enrichissement de l'image mentale de l'objet, du montage et du circuit des liquides. Nous avons eu la possibilité de créer un objet qui permet le renforcement en termes de connaissances disciplinaires : l'objet a été décomposé sur la base des différents éléments qui le constituent et imprimé en 3D à partir des coupes en vue des dessins en relief. L'exploration de l'objet en 3D a donc offert la possibilité de percevoir séparément la première enveloppe de verre puis la seconde à l'intérieur de la première.
 - ii. Au niveau des connaissances car par rapport au 2D l'élève est placé ici face à une manipulation d'objets en 3D qui va lui faire construire un savoir: il peut démonter et remonter tout le circuit et ainsi accéder à une information globale. Ses propres connaissances reposent ainsi sur une technique procédurale et non plus seulement déclarative.
 - iii. Enrichissement pour le professeur : le professeur peut ainsi observer la qualité de l'image mentale que se fabrique l'élève. Il peut demander à l'élève de faire des allers-retours entre le 3D et le DER. Il peut vérifier l'élaboration au niveau cognitif des notions mises en œuvre.

- b. Becher : exercice de représentation mentale** : niveau d'élaboration moins complexe en termes de contenu et de « dispositif. Il permet surtout de faire saisir la notion de coupe sagittale ou longitudinale. C'est un travail sur la représentation mentale important.

- i. **DISPOSITIF** : Maquette en taille réelle d'un bécher (ou tube à essai) coupée en deux ce qui facilite la compréhension d'une

coupe longitudinale et aide l'élève à schématiser la verrerie en respectant les règles de physique-chimie. (niveau 5ème à TS)

ii. OBSERVATIONS :

- La manipulation des deux parties du Becher permet de passer du 2D (dessin en DER) qui représente une forme en U à un objet 3D rond et creux. L'élève parvient ainsi à établir une correspondance entre le dessin en U (qui est l'empreinte laissée sur le support 2D par l'objet en 3D au niveau de sa coupe).
- Permet d'expliquer la notion de schématisation indispensable dans toutes formes de dessins en DER.
- L'impression 3D permet de créer un objet qui n'existe nulle part. L'élève peut être mis en situation de construire la représentation schématique par application sur un support (paume de la main, planche Dycem, argile...) Il comprend que le schéma est une projection sur un support 2D à partir d'une coupe.

c. Ménisque : toucher l'imperceptible tactile

i. **DISPOSITIF** : L'eau étant polaire, elle reste liée aux parois et forme un ménisque. Cette observation visuelle est inaccessible pour les élèves de l'INJA. Ainsi la maquette, sur laquelle le phénomène a été volontairement grossi permet à l'élève d'observer le phénomène.

ii. OBSERVATIONS :

- Possibilité de rendre tactilement observable un phénomène physique imperceptible tactilement. Création d'un objet à partir d'un phénomène physique observé. On peut rendre perceptible la surface libre de l'eau et le creux qui se forme sous l'action de force : on touche là une « notion ».
- Cela va permettre aux élèves de 1èreS et de TS de comprendre comment utiliser correctement une pipette graduée, pipette jaugée, fiole jaugée de manière à prélever un volume précis ou à réaliser une mesure précise.
- L'élève pourra ensuite expliquer à son secrétaire (manipulateur) le jour de l'épreuve d'évaluation des compétences expérimentales du BAC où placer son œil et ce qu'il doit voir (ménisque tangent au trait de jauge).

L'élève utilisera le vocabulaire spécifique qu'il aura compris (pas de verbalisme).

3. OBSERVATIONS et REFLEXIONS GENERALES: Il s'agit la non pas de principes intangibles ni définitifs mais des réflexions et des observations générales suite à l'expérience qui a été menée à l'INJA.

La 3D : technologie « facilitatrice » :

Dans l'ensemble voici les principaux intérêts constatés du point de vue de la technique de fabrication (hors l'aspect pédagogique):

i. une maîtrise de toute la chaine de production. Cette technologie permet de concevoir et de produire un objet qui n'existe pas sur le marché mais en plus elle permet SURTOUT **une maîtrise de toute la chaine de production.** En effet, il n'y a pas de césure entre la personne qui imagine ; celle qui conçoit et celle qui fabrique. Il peut être tout à la fois créateur ; dessinateur ; producteur et distributeur. Pour les centres de transcription et d'adaptations de documents c'est une opportunité extraordinaire. Il peut concevoir et produire dans relative mais réelle économie de moyen. De plus, il peut produire à la demande. L'INJA a pu être empêché dans la réalisation de certains prochains car la phase de production aurait été sous traitée par des entreprises dédiées à la production d'objet 3D pour un résultat triplement décevant :

1. coûts souvent exorbitants
2. obligation de commander un stock important pour pouvoir lancer la production
3. pas de propriété sur les fichiers lorsque l'entreprise conçoit et produit

ii. Micro industrialisation et prototypage :

1. On peut partir des besoins spécifiques des élèves voire d'un élève;

2. C'est une technologie du prototypage et la chaîne de distribution est courte ; produits expérimentaux ;
3. coûts avantageux
4. non dépendant du marché ;

Ces machines permettent donc un usinage relativement rapide pour des petites séries ou du prototypage. Ainsi le professionnel peut avoir accès rapidement à une réalisation concrète, manipulable et améliorable avant de lancer la phase de production.

L'avantage indéniable de la numérisation complète du projet et de l'objet en volume est que s'il est besoin d'une production importante celle-ci peut être sous traitée tout en restant propriétaire des fichiers numériques.

iii. Objets résistants ; manipulables et dédiés spécifiquement à l'exploration tactile et à la déficience visuelle. En effet, il faut rappeler que ce n'est pas l'outil ou la machine qui crée l'objet mais bien le professionnel qui dans ses approches pédagogiques et intellectuelles pensera à de nouveaux objets en lien avec sa pratique. Des objets en 3D existent dans le commerce mais le rendu n'est pas toujours exploitable pédagogiquement. Au niveau de la matière, du niveau de détails. Avec l'imprimante 3D on a le choix des couleurs, la possibilité d'intégrer du braille, de prévoir une manipulation particulière...

iv. Numérisation des fichiers : Cela représente aujourd'hui un avantage extraordinaire. Une fois de plus le chef de projet peut garder la propriété de ses fichiers et les échanger; les mettre à disposition du plus grand nombre.

Et inversement : les fichiers sont également modifiables, adaptables. Les centres de transcription et d'adaptation peuvent imaginer la création d'une banque de données ou alimenter certaines existantes type Thingiverse...

On rentre dans une « économie » collaborative dont nos centres ont profondément besoin.

CONCLUSION GENERALE :

L'IMPRESSION 3D :

- 1- Possibilité d'échapper en partie à la logique du marché et aux circuits de distribution classique : Elle apparait aujourd'hui comme une technologie qui permet à des personnes plutôt en marge des circuits de productions (car manque de maîtrise technique ; manque de moyens financiers ; représentent un marché de niche...) d'être leurs propres concepteurs et producteurs.

- 2- Notre expérience nous permet de dire que l'objet 3D en lui-même ne peut suffire. Ce que rendent possible l'imprimante 3D et la découpeuse laser c'est de proposer des objets dont les manipulations permettent de construire un savoir et ainsi de placer l'élève dans la situation de s'approprier une connaissance. La bonne adaptation comme la bonne impression 3D sera donc celle qui est avant tout pensée autour d'un projet pédagogique. A savoir les connaissances visées mais également et SURTOUT la manipulation cognitive et la situation d'apprentissage que met en œuvre le projet.

Le dispositif pédagogique doit permettre :

- aux élèves :

- **de se rendre compte de la « réalité » d'un objet par l'exploration tactile et ainsi renforcer une image mentale.**
- **par la manipulation qu'il engage de construire un savoir global et accéder à des connaissances mais également à des compétences. Il peut monter et démonter des connaissances.**

- au professeur :

- **de comprendre comment son élève comprend. C'est-à-dire comment il construit son propre savoir, quelles sont ses difficultés, son cheminement.**