



HAL
open science

ASPECTS TECHNIQUES ET PÉDAGOGIQUES DE VIDÉOS D'ENSEIGNEMENT

Arij Bouzelmate, Benoît Rittaud

► **To cite this version:**

Arij Bouzelmate, Benoît Rittaud. ASPECTS TECHNIQUES ET PÉDAGOGIQUES DE VIDÉOS D'ENSEIGNEMENT. SEPTIÈME SYMPOSIUM D'ÉTUDE SUR LE TRAVAIL MATHÉMATIQUE, Jun 2022, Strasbourg, France. hal-03882391

HAL Id: hal-03882391

<https://hal.science/hal-03882391v1>

Submitted on 4 Jan 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ASPECTS TECHNIQUES ET PÉDAGOGIQUES DE VIDÉOS D'ENSEIGNEMENT

Arij Bouzelmate* et Benoît Rittaud^o

*LaR2A, Faculté des Sciences de Tétouan, Université Abdelmalek Essaâdi
^oLAGA (UMR CNRS 7539), Institut Galilée, Université Sorbonne Paris Nord

Cet article étudie l'articulation entre aspects formels et aspects pédagogiques de l'outil vidéo dans l'enseignement supérieur des mathématiques. S'appuyant sur des vidéos réalisées par les auteurs sur les équations différentielles ordinaires, il s'intéresse à l'outil en tant qu'élément d'un Espace de Travail Mathématique.

INTRODUCTION

Le développement de l'enseignement à distance consécutif à la crise du covid-19 a montré le potentiel pédagogique considérable des vidéos. Pour l'instant toutefois, il semble que, s'agissant de celles traitant des mathématiques de niveau universitaire, les études portent plus volontiers sur leur contenu que sur leur forme (Allard *et al.* 2016), (Bridoux *et al.* 2016).

Il ne manque certes pas d'initiatives pionnières, telles que la chaîne Exo7¹ dont le nombre de vues considérable témoigne d'une utilité importante depuis dix ans. Il n'est toutefois pas possible d'en rester là, pour de multiples raisons.

- Le déploiement du marché de l'enseignement en ligne et/ou numérique doit conduire les acteurs du monde universitaire à se positionner.
- L'immense développement des chaînes vidéos sur tous les sujets et aux qualités formelles de plus en plus grandes oblige la communauté éducative à réviser à la hausse ses standards d'attractivité et d'efficacité dans la conception de vidéos pédagogiques.
- L'évolution des goûts et préférences des utilisateurs force à une adaptation régulière de l'offre. Par exemple, le fond classiquement blanc des diaporamas (ordinaires ou intégrés à une vidéo) cède aujourd'hui du terrain face à la tendance du *Dark Mode* (arrière-plans sombres) qui est celui des nouvelles versions de certains systèmes d'exploitation et de certaines applications. (L'argument d'une fatigue oculaire moindre avec ces fonds sombres est parfois avancé, bien qu'il soit contesté.)
- L'accès de plus en plus facile et bon marché (voire gratuit) à des outils modernes d'enregistrement et de montage autrefois réservés aux professionnels ouvre des perspectives nouvelles pour l'élaboration de vidéos, qui n'ont plus à se réduire à un simple cours lu à voix haute.

Ce dernier point est sans doute le plus stimulant, car c'est celui qui ouvre le mieux la porte à des vidéos d'enseignement des mathématiques qui constitueraient un outil véritablement nouveau, avec un intérêt et un rôle propres.

Notre hypothèse est que l'outil vidéo n'est pas la simple intersection des deux grands outils traditionnels de l'enseignement que sont le cours (au sens large de séance mettant en présence l'enseignant et ses élèves) et le manuel (également au sens large, c'est-à-dire incluant des supports écrits de toute nature : ouvrage, polycopié, fiches d'exercices, etc.). Nous posons que les vidéos pédagogiques sont des *films* autant que des *cours*, et qu'à ce titre elles doivent être pensées comme constituant un outil spécifique. Les règles propres de celui-ci induisent des choix pédagogiques particuliers, qui se superposent aux choix scientifiques nécessaires, notamment entre la rigueur mathématique et les attentes du public visé par l'outil.

LES VIDÉOS PÉDAGOGIQUES DANS LE CADRE DES ETM

Dans le cadre de la théorie des ETM (Kuzniak, 2011), les vidéos prennent naturellement place au sein des ETM *idoines* (Kuzniak *et al.*, 2016), c'est-à-dire de l'ensemble des ressources conçues pour l'élève ou l'étudiant et éventuellement utilisées effectivement par la suite dans le cadre d'un cours. (Plus précisément on doit parler ici d'ETM *idoin* *potentiel*.)

Une caractéristique particulière de l'outil vidéo est sa place extrême dans la catégorisation des tâches mathématiques proposée dans (Nechache, 2017). Dans celle-ci, une tâche est simple, standard ou riche, conférant à celui qui la mène une position de tâcheron, de technicien ou d'ingénieur. Or s'il est légitime de considérer que regarder une vidéo d'enseignement constitue une « tâche », le caractère particulièrement passif de celle-ci réduit l'élève ou l'étudiant à une position en un certain sens inférieure encore à celle de tâcheron. Les moyens d'action sur l'outil sont en effet réduits :

- mettre la diffusion sur pause pour noter quelque chose ou répondre à une question (un point auquel il peut être invité par la vidéo elle-même dans le but de le rendre actif) ;
- accélérer ou ralentir la vitesse de lecture ;
- avancer ou reculer dans le déroulement.

Ces leviers sont certes importants mais, mis à part éventuellement le premier (qui présente le risque de hacher le contenu), aucun d'eux ne rend l'étudiant à proprement parler actif sur le savoir lui-même. Cette limitation de l'outil conduit à une réflexion selon deux axes. Le premier porte sur les outils périphériques qui, complétant la vidéo, pourraient favoriser la mise en activité de l'étudiant. Par exemple, pour une vidéo sur une équation différentielle, on peut imaginer en parallèle, sur un site internet dédié, un fichier de géométrie dynamique sur lequel l'étudiant peut interagir en actionnant des curseurs lui permettant de visualiser les solutions, tout en

continuant à visionner la vidéo. Une telle articulation entre manipulation et visionnage devrait être soigneusement réfléchie.

Le second axe consiste à prendre acte de la passivité de l'étudiant durant son visionnage. On ne peut pas éviter complètement celle-ci car, par exemple lors de l'énoncé d'un théorème ou d'une définition, on ne voit guère comment faire autrement que de se contenter de solliciter l'attention. Ces parties-là d'une vidéo doivent donc faire l'objet d'un soin particulier pour éviter que la passivité ne se change en désengagement au fil du visionnage. Un travail important reste à mener dans cette direction pour réfléchir aux moyens de faire de ces parties intrinsèquement passives des éléments de stimulation. Le traitement de cette question passera probablement par des interactions suivies avec des professionnels (spécialistes de l'attention, réalisateurs de vidéos type documentaires...).

ETM DE VIDÉOS SUR LES ÉQUATIONS DIFFÉRENTIELLES

Nous nous appuyons ici sur l'expérience acquise lors de la réalisation d'une série de vidéos publiées sur une chaîne YouTube dédiée, réalisées dans le cadre d'un projet soutenu par l'ambassade de France au Maroc². Ces vidéos traitent des équations différentielles du premier ordre selon le programme courant du début des cursus universitaires scientifiques. Loin d'un modèle parfait ne serait-ce qu'en raison des moyens limités disponibles lors de leur élaboration, leur intérêt pour nous tient aux questions, aux objectifs et aux choix pédagogiques qu'elles permettent d'illustrer.

Le domaine de l'ETM concerné par ces vidéos est celui du calcul différentiel et intégral, mais sans doute est-il utile ici d'endosser plutôt la notion de *sous-domaine*, voire d'ETM *local*, proposées par (Montoya-Delgadillo *et al.*, 2014). L'intérêt d'un tel resserrement tient à l'usage auquel les vidéos se destinent le plus volontiers, à savoir celui de la *consommation immédiate* :

- La *consommation* relève d'une façon devenue extrêmement courante de regarder des vidéos de toutes sortes permettant d'apprendre quelque chose. Le format est celui du tutoriel, qui permet d'apprendre à changer une roue aussi bien que de prononcer correctement un mot en japonais ou d'apprendre à imiter le chant des oiseaux.
- L'*immédiateté* tient à l'objectif en général très concret de l'utilisateur, qui vient pour une question précise à laquelle il attend une réponse aussi rapide que possible, sans digression ni prolongement (si ce n'est l'incitation à regarder d'autres vidéos sur des thèmes voisins).

Il est raisonnable de penser que l'ETM dans lequel s'inscrit une vidéo (ou une série de vidéos) doit être d'une taille réduite correspondant à l'usage très circonscrit qui sera fait de l'outil. On parlera donc ici de l'ETM local qui serait celui des équations différentielles ordinaires.

SPÉCIFICITÉS DE L'OUTIL

Pour en faire autre chose qu'un gadget dans l'air du temps, la vidéo doit être acceptée pour ce qu'elle est : un *outil nouveau*. En tant qu'*outil* elle doit être comprise comme une aide parmi d'autres à l'apprentissage. En tant que *nouveauté*, elle demande qu'on lui reconnaisse des règles de conception irréductibles aux autres grands outils existants que sont le cours classique et le manuel.

Par exemple, une vidéo permet de délivrer une quantité maximale d'information en un temps minimal. C'est ainsi que l'ensemble du chapitre sur les équations différentielles, qui demande en principe plusieurs séances de cours, tient sur nos 12 vidéos qui, mises bout à bout, ne totalisent qu'une heure. Aucun cours ne saurait aller à une telle vitesse, aucun manuel ne pourrait être lu si vite. Cela prouve non pas que la vidéo serait meilleure que ces deux autres outils, mais que son fonctionnement est véritablement spécifique.

Réduire la vidéo à un simple cours enregistré au tableau offre certes déjà quelques possibilités nouvelles (pouvoir suivre sans limitation d'horaire, ou faire des pauses et des réécoutes à volonté), mais conduit à perdre aussi plusieurs des avantages cruciaux du cours traditionnel : déshumanisation induite par le virtuel, impossibilité de poser des questions, petitesse de l'écran. De plus, lors du visionnage d'une vidéo le seuil de tolérance aux hésitations, corrections et superfluités qui émaillent toute présentation orale est moindre, surtout pour un public étudiant beaucoup moins captif que dans une salle de cours et habitué à des vidéos au rythme enlevé.

D'autre part, vouloir faire de la vidéo un simple manuel oral rend vite l'écoute insupportable de lenteur, la rigidité par rapport à l'écrit se révélant rapidement irrémédiable. Un texte permet des va-et-vient oculaires à une vitesse impossible à reproduire sur une vidéo qui n'en serait que l'oralisation, et dont la vitesse contrainte ne pourrait s'adapter aux différents étudiants. Enfin, une telle manière de faire conduit à des vidéos qui se font vite très longues.

Une richesse supplémentaire des vidéos par rapport au manuel ou au cours est plus spécifique aux mathématiques : c'est celle des animations, comme il a été relevé notamment par (Kuzniak, 2011) :

Ainsi des petits films montrent des découpages pour effectuer des preuves du théorème de Pythagore ou permettent des réalisations d'expériences très complexes sans l'outil informatique comme le retournement d'une sphère. Cette mise en œuvre dynamique crée un « discours » explicatif complémentaire du seul texte écrit longtemps privilégié, au moins dans la tradition occidentale.

CONTENU SCIENTIFIQUE

Le contenu des vidéos ici considérées est celui d'un cours qui présente la théorie et les méthodes de résolution classiques des équations différentielles du premier ordre,

traditionnellement enseignées dans les cursus de première année universitaire scientifique. Ce choix a résulté d'un compromis qui tenait compte des délais serrés de l'appel à projet et de l'objectif d'être utile à un maximum d'étudiants.

La première des 12 vidéos constitue une introduction générale à la notion d'équation différentielle. Les 5 suivantes traitent du cas linéaire, selon un découpage courant : quelques généralités, ici présentées au travers du problème de De Beaune (vidéo 1.1), le théorème usuel permettant de traiter le cas résolu sans second membre (1.2), le cas avec second membre avec le principe de superposition, la recherche d'une solution particulière et la méthode de variation de la constante (1.3), le cas non résolu et la question des intervalles de définition (1.4), et enfin un bilan global suivi d'un exemple complet (1.5). Les 6 dernières vidéos s'intéressent aux autres types classiques d'équations différentielles du premier ordre couramment enseignées en première ou deuxième année de cursus universitaire scientifique : équations autonomes (2.1), à variables séparées (2.2), homogène (2.3), de Bernoulli (2.4) et de Riccati (2.5). Enfin, la dernière vidéo (2.6) traite la question de la condition initiale.

Dans la suite, le propos se centrera sur la vidéo 1.2 (cas résolu sans second membre). Plus longue de la série (8'17''), cette vidéo est ainsi découpée : les 50 premières secondes sont dédiées à l'énoncé du théorème donnant les solutions des équations de la forme $y'+by = 0$ (où b est une fonction continue). Pendant 2'10'' est ensuite proposée une démonstration complète de ce résultat (présentée comme facultative), découpée en 45'' pour vérifier que les fonctions de la forme $y(x) = Ce^{-F(x)}$ sont solutions (où F est une primitive de b) et en 1'20'' pour démontrer, par la méthode du facteur intégrant, que ces fonctions sont les seules solutions possibles. L'exemple de l'équation différentielle $y'+2\cos(2x)y = 0$ est ensuite intégralement traité (environ 35''). Une incise d'une minute est l'occasion d'exprimer l'ensemble des solutions sous la forme d'un sous-espace vectoriel de l'espace des fonctions (le sous-espace engendré par la fonction qui à tout réel x associe $e^{-\sin(2x)}$). Cette forme est utilisée pour justifier l'emploi du qualificatif de *linéaire* attaché aux équations différentielles concernées par le théorème initial. Quelques secondes sont ensuite consacrées à la visualisation des solutions trouvées de l'équation $y'+2\cos(2x)y = 0$, à l'aide d'une animation montrant le graphe de la fonction en faisant varier C . Ensuite, pendant une durée de 1'20'' est présentée la forme de résolution alternative parfois employée et qui permet de s'affranchir du théorème (en réécrivant l'équation sous la forme $y'/y = -2\cos(2x)$ et en intégrant des deux côtés de l'égalité). Un peu moins d'une minute est alors consacrée à l'exposé des défauts théoriques de cette dernière méthode (entre autres le fait qu'écrire y'/y suppose y non nul), tout en expliquant qu'en pratique ces défauts ne sont pas problématiques (et en renvoyant à la vidéo 2.6 pour les questions liées au théorème de Cauchy-Lipschitz). La dernière minute de la vidéo est consacrée à la vérification des résultats obtenus dans l'exemple, ce qui donne l'occasion d'insister sur l'importance de contrôler ses résultats.

ANALYSE DES PRINCIPAUX CHOIX DIDACTIQUES

Dans le formalisme des ETM, les séquences de la vidéo 1.2 relèvent presque toutes du plan sémiotique-discursif ([Sem-Dis]). Ainsi, comme la plupart des autres de la série, la vidéo commence par poser son référentiel théorique (qui prend ici la forme de l'énoncé du théorème général donnant les solutions des équations différentielles linéaires du premier ordre sans second membre), avant d'en proposer la démonstration classique, elle-même suivie du traitement complet de l'exemple de $y'+2\cos(2x)y = 0$. Cet exemple a été choisi pour être à la fois représentatif de la façon dont le théorème s'emploie et suffisamment simple pour ne pas que l'attention soit distraite de l'essentiel (choix d'un coefficient de y non trivial mais très facile à intégrer, fonctions toutes définies sur \mathbf{R}).

Le caractère très classique d'une telle architecture tient à la nature de la cible visée par les vidéos. Il est raisonnable de penser que la plupart des étudiants qui les visionneront auront déjà suivi un cours sur le sujet, et disposeront aussi de documentation écrite. Le choix a donc été fait d'envisager les vidéos comme une sorte de récapitulatif destiné à permettre à l'étudiant de mettre de l'ordre dans ses idées sur un sujet qu'il a déjà commencé à étudier. De plus, l'objectif ayant été de s'adresser à un public de niveaux variés (les équations différentielles sont étudiées avec un niveau de rigueur variable selon les filières suivies), un choix de compromis a dû être fait entre un formalisme mathématique irréprochable et une présentation exclusivement tournée vers la simple résolution d'exercices. Le premier choix aurait plaidé, par exemple, pour une explication de la nécessité que les fonctions soient définies sur un intervalle, alors que le second se serait affranchi du référentiel théorique au profit de la seule technique proposée en fin de vidéo consistant à isoler l'expression y'/y et à intégrer des deux côtés de l'égalité ainsi obtenue. (On parlera ci-après de « technique y'/y ».)

Cette dernière technique présente l'intérêt d'être le seul passage de la vidéo relevant d'une genèse instrumentale. Elle constitue un artefact symbolique dont même certains enseignants n'ont pas conscience des limites théoriques. C'est l'un des choix de la vidéo que de mettre en évidence la nécessité d'attribuer à cette technique le statut qui doit être le sien et qui, en un sens, relève presque d'un *moyen mnémotechnique* : il s'agit d'une technique qui permet de retrouver le résultat cherché sans avoir à apprendre l'énoncé du théorème qui la sous-tend, et ce à l'aide de divers raccourcis non justifiés. Dans ce passage de la vidéo se déploie ainsi une forte tension entre des éléments apparemment contradictoires. En effet, alors que, dans un premier temps, la technique y'/y semble « fonctionner toute seule » (et donc rendre inutile le théorème initial et sa démonstration fort longue), un second temps en déroule la liste des défauts théoriques qui en invalident l'usage. Un troisième temps met alors en lumière ce paradoxe que, même incorrecte du point de vue théorique, la technique est tout de même toujours acceptable en pratique, à condition de commettre volontairement une erreur : celle qui consiste à dire, lors du remplacement du $\pm e^{C0}$ de $y(x) = \pm e^{C0} \exp(-\sin(2x))$ par un C pour obtenir $y(x) = C \exp(-\sin(2x))$, que « C est n'importe quelle constante réelle » alors que, selon sa définition, C n'est en réalité qu'une constante réelle *non nulle*.

Face à cette réalité complexe d'une méthode partiellement fautive du point de vue théorique mais qui, en pratique, produit toujours la réponse correcte (et ce pour des raisons qui ne peuvent être comprises qu'après de longs détours par un résultat encore plus profond qui est le théorème de Cauchy-Lipschitz), le choix de la vidéo est celui de la rigueur (c'est le « vrai » théorème qui est énoncé, démontré et illustré) tempérée par une dose de réalisme devant le très large emploi persistant de la technique y'/y . C'est pour ne pas risquer de couper les étudiants de cette dernière, qui a de bonnes chances de leur être enseignée, que la vidéo l'intègre, à nouveau dans l'idée que l'étudiant dispose en principe d'un cours auquel confronter la vidéo et qu'entre les deux il faut l'aider à trouver une cohérence. La présentation de la technique y'/y se fait un peu à reculons, certes, et il y a à cela une autre raison, qui tient elle aussi à un point de vue tout ce qu'il y a de concret : force est de constater que les manipulations algébriques auxquelles la technique y'/y nous expose sont finalement bien plus longues que l'emploi direct de la formule du théorème.

Un même esprit de compromis a guidé l'élaboration de la brève séquence autour du lien entre le théorème fondamental et l'algèbre linéaire. Du point de vue pédagogique il aurait été risqué d'énoncer le théorème initial en présentant l'ensemble des solutions sous la forme d'un sous-espace vectoriel de l'espace des fonctions de I dans \mathbf{R} . Il était cependant tout aussi délicat de s'affranchir complètement de ce formalisme, à la fois parce que certains étudiants ont à le connaître et parce qu'il devient vite incontournable dans des cas à peine plus généraux (tels que celui des équations différentielles du second ordre à coefficients constants, en général également étudiés dans la plupart des filières scientifiques universitaires). Le lien épistémologique crucial qu'il permet par ailleurs entre ces deux grands chapitres des mathématiques du début de l'enseignement supérieur que sont le calcul différentiel élémentaire et l'algèbre linéaire était bien sûr un argument en soi, illustrant le choix fait pour ces vidéos de tâcher de s'élever un peu des seules questions de résolutions pratiques d'exercices. Le choix a donc finalement été de présenter le formalisme de l'algèbre linéaire au travers du seul exemple de l'ensemble des solutions de $y'+2\cos(2x)y = 0$ obtenu précédemment, et réécrit sous forme d'un sous-espace vectoriel. L'exemple ayant valeur générale, il permet de reformuler indirectement le théorème initial sans devoir redonner tout un énoncé.

LES INCRUSTATIONS : ENTRE ÉCRIT ET ORAL

Comme on l'a vu, la première séquence de la vidéo concerne l'énoncé du théorème de résolution des équations différentielles linéaires du premier ordre. Le contenu de l'énoncé est celui d'un cours standard, qui, dans un manuel, pourrait prendre la forme suivante :

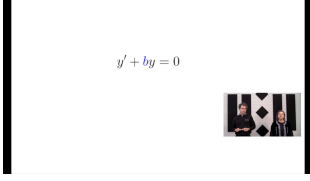
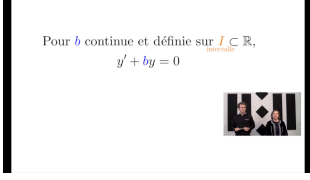
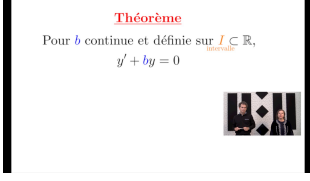
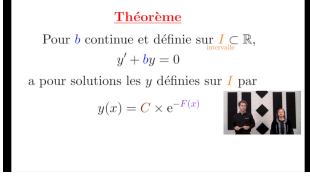
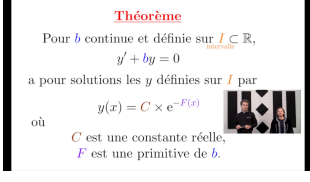
Théorème. Soit b une fonction continue définie sur un intervalle I de \mathbf{R} , soit F une primitive de b . Les fonctions y solutions de $y'+by = 0$ sont les fonctions définies sur I par $y(x) = Ce^{-F(x)}$, où C est une constante réelle quelconque.

On peut bien sûr envisager de multiples autres manières de donner ce résultat, mais l'ordre des différents éléments du discours écrit préservera toujours quelques caractéristiques invariantes : d'abord l'intitulé indiquant le statut de l'énoncé (ici : un théorème), puis éventuellement quelques hypothèses (sur b , éventuellement sur F comme il est fait ci-dessus), ensuite ce sur quoi porte l'énoncé (les solutions de $y'+by = 0$), suivie de « la formule à apprendre » ($y(x) = Ce^{-F(x)}$), et enfin des précisions sur son contenu (C est une constante ; les hypothèses sur b et F peuvent éventuellement trouver leur place ici aussi). Toute rédaction qui, par souci de lisibilité, tenterait de s'affranchir de tel ou tel élément ne peut le faire qu'en sacrifiant à la rigueur, par exemple en ne mentionnant pas l'intervalle de définition.

Le discours oral, lui, n'est pas limité par ces contraintes et peut donc, sans trop d'inconvénient, s'autoriser une liberté dans sa structure de sorte à privilégier un ordre découlant de l'importance relative des différents éléments. C'est ainsi qu'une présentation orale du résultat précédent peut prendre, lors d'un cours, une forme telle que celle-ci : « Pour résoudre l'équation $y'+by = 0$, avec b continue sur I , on dispose d'un théorème qui dit que les solutions sont de la forme de la forme $y(x) = Ce^{-F(x)}$, définies sur I , avec C une constante quelconque et F une primitive de b . »

Dans la théorie des ETM, ces nuances entre discours écrit et oral trouvent leur place dans la genèse sémiotique, et en particulier dans le pôle « visualisation » du plan cognitif, à ceci près que cette « visualisation » du théorème ne concerne pas la perception d'un sens mathématique, mais de la façon dont l'énoncé s'organise. Il s'agit ici de se poser la question non pas de la « chair » du théorème (son sens mathématique profond), mais de son « squelette », c'est-à-dire de l'ordre dans lequel, le plus souvent, ses différents éléments constitutifs auront vocation à être exploités dans un exercice. Un tel squelette tourné vers l'utilisation pratique directe est surtout du ressort du discours oral, qui permet de façon plus directe à un étudiant de « voir comment faire », sans avoir à donner dès le départ un sens mathématique à ce qu'il fait. Pour résoudre un exercice d'application directe, il peut en effet identifier la forme de l'équation, puis se souvenir de l'existence d'un théorème associé, qui donne la forme de la solution. Aux détails près des diverses hypothèses, tel est bien l'ordre de l'oral. En revanche, la structuration plus stricte relève davantage de l'écrit, qui organise les choses d'une façon plus rigoureuse (ne serait-ce qu'en définissant les objets avant de les utiliser).

La vidéo, elle, permet une forme de synthèse entre les deux discours, joignant l'écrit et l'oral tout en préservant les deux structures. Le procédé pour cela est celui de l'incrustation, qui peut suivre le développement oral tout en constituant progressivement un énoncé aux normes de l'écrit. Voici la succession d'incrustations durant lesquelles le théorème est énoncé, ainsi que le texte oralisé :

<p>Le premier type d'équations différentielles qu'on va apprendre à résoudre est celui des équations linéaires d'ordre 1 sans second membre et sous forme résolue, c'est-à-dire de la forme $y'+by=0$,</p>	
<p>où b est une fonction continue définie sur un intervalle I.</p>	
<p>Les solutions de cette équation s'obtiennent à l'aide d'un théorème général :</p>	
<p>ces solutions sont les fonctions y définies sur I et qui s'écrivent $y(x) = C \times \exp(-F(x))$,</p>	
<p>où C est une constante réelle quelconque et F une primitive de b.</p>	

L'OBLIGATOIRE MINIMALISME

Le procédé précédent peut donc être compris comme une tentative de réunir les avantages de l'oral et de l'écrit. Il n'est toutefois pas toujours possible de le faire, ni même nécessairement souhaitable, notamment parce qu'il est souvent superflu de faire figurer dans une incrustation la totalité des éléments techniques des énoncés. D'une part, il faut tenir compte de l'impératif d'accessibilité : beaucoup d'étudiants n'ayant accès à des vidéos qu'au travers du petit écran d'un smartphone (et non d'un écran d'ordinateur), seuls de gros caractères peuvent être utilisés, réduisant d'autant la possibilité de textes écrits un tant soit peu longs. D'autre part, l'efficacité d'une vidéo tenant aussi à une certaine immédiateté de l'information, il convient que les incrustations soient faites de façon quelque peu minimaliste. Avec peu ou pas de véritables phrases, les incrustations sont le plus souvent réduites à quelques mots ou expressions mathématiques, si bien qu'il n'est pas toujours possible de restaurer entièrement un contenu écrit.

Ce point se révèle notamment dans les incrustations qui donnent une démonstration. Ainsi de celle du sens réciproque du théorème sur les solutions d'équations linéaires du premier ordre, à l'aide de la méthode du facteur intégrant.

Démonstration

$$y' + by = 0$$

$$b = F'$$

$$\Rightarrow e^F y' + e^F by = 0$$

$$\Rightarrow e^F y' + (e^F F') y = 0 \quad g = e^F$$

$$\Rightarrow g y' + g' y = 0 \quad \downarrow$$

$$\Rightarrow (gy)' = 0 \Rightarrow gy = C \Rightarrow y = C e^{-F}$$

Comme on le voit, cette démonstration ne contient que les éléments les plus essentiels, avec leurs indispensables liens logiques. L'absence de texte est compensée par une explication orale détaillée. De plus, l'incrustation n'apparaît pas d'un coup à l'écran (ce qui la rendrait quelque peu indigeste), mais se dévoile ligne à ligne au fil des explications (à l'image d'un enseignant écrivant au tableau), focalisant l'attention sur chaque étape dans le déroulement du raisonnement. Bien que le résultat soit un « squelette » bien détaillé de la démonstration, il présente l'inconvénient sur une démonstration écrite ordinaire de ne pas offrir une véritable rédaction mais une simple juxtaposition d'expressions mathématiques, alors qu'il est souvent reproché aux étudiants leurs difficultés à concevoir que les mathématiques s'écrivent à l'aide de phrases et non à l'aide de seuls symboles...

Dans cette incrustation, également tirée de la vidéo 1.2, le théorème à démontrer est rappelé dans un encadré en haut à droite, dans l'idée de matérialiser un « souvenir » (une reproduction en plus petit d'une incrustation vue précédemment dans la vidéo). Il s'agit là d'une autre spécificité de l'outil vidéo, qui s'intègre à la question plus large des effets spéciaux auxquels il est possible d'avoir recours et sur lesquels d'autres études seront nécessaires.

CONCLUSION

La compréhension des mécanismes spécifiques de l'outil vidéo dans la constitution de documents pédagogiques est encore très parcellaire. Bien qu'ouvrant des horizons nouveaux tels que la possibilité de synthèses partielles entre l'oral et l'écrit, l'outil reste tributaire de choix scientifiques classiques tels que celui entre la rigueur et la clarté. La liberté dans les incrustations autant que la variété des animations permises par les logiciels de géométrie dynamique ouvrent des champs d'investigation qui devront sans doute, plus que par le passé, se poser la question des risques que font courir le caractère potentiellement distractif d'effets qui, sous couvert de visualisation, dériveraient vers le spectaculaire. Mais c'est aussi l'articulation de l'outil vidéo avec les autres outils (manuels, cours) qui devra être pensée, pour que chacun d'eux puisse trouver sa meilleure place dans l'organisation d'un enseignement et la mise en activité des élèves et des étudiants.

NOTES

1. <http://exo7.emath.fr/>

2. « Cours universitaire franco marocain mathématiques », https://www.youtube.com/channel/UCBX61CbCw7_r8m5rOpe-bUw (NB : Le « de » manquant est dû à la limite en nombre de caractères imposée par YouTube. Le nom de la chaîne a été choisi pour contenir un maximum de mots-clés pour le référencement.)

REFERENCES

C. Allard *et al.* (2016), « Quand le professeur de mathématiques est sur YouTube... », *Cahiers du laboratoire de didactique André Revuz* **16**, <http://docs.irem.univ-paris-diderot.fr/up/IP16002.pdf>.

S. Bridoux *et al.* (2016), « Les moments d'exposition des connaissances : analyses et exemples », *Annales de didactique et de sciences cognitives* **21**, 187-233.

A. Kuzniak (2011), « L'espace de Travail Mathématique et ses genèses », *Annales de Didactiques et de Sciences Cognitives*, **16**, 9-24.

A. Kuzniak & A. Nechache (2016), « Tâches emblématiques dans l'étude des ETM idoines : existence et usages. » *Cinquième symposium des Espaces de Travail Mathématique*, Florina, Grèce.

E. Montoya-Delgadillo & L. Vivier (2014), « Les changements de domaine dans le cadre des Espaces de Travail Mathématique », *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, **19**, 73-101.

A. Nechache (2017), « La catégorisation des tâches et du travailleur-sujet : un outil méthodologique pour l'étude du travail mathématique dans le domaine des probabilités », *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, **22**, 67-90.