

# HOBIT

## Un concept innovant pour la transformation des pratiques pédagogiques en physique

**Bruno Bousquet**<sup>(1)</sup> (bruno.bousquet@u-bordeaux.fr), **Lionel Canioni**<sup>(2)</sup>, **Jean-Paul Guillet**<sup>(3)</sup>, **Stéphanie Fleck**<sup>(4)</sup>, **Erwan Normand**<sup>(1,4)</sup> et **Martin Hachet**<sup>(5)</sup>

(1) Département Mesures Physiques, IUT de Bordeaux, 33175 Gradignan

(2) Département de Physique, Université de Bordeaux, 33405 Talence

(3) Département Génie électrique et Informatique industrielle, IUT de Bordeaux, 33175 Gradignan

(4) Psychologie ergonomique et sociale pour l'expérience utilisateurs (PERSEUs), Université de Lorraine, 57045 Metz

(5) INRIA Bordeaux, 33405 Talence

**La transformation des pratiques pédagogiques est devenue une nécessité pour faciliter l'accès au savoir d'étudiants qui ont du mal à comprendre les concepts abstraits ainsi que les modèles physiques et les outils mathématiques sous-jacents.**

**Dans ce contexte, nous avons conçu, développé et évalué le dispositif HOBIT, destiné à soutenir l'apprentissage des connaissances fondamentales et des compétences techniques dans le domaine de l'optique, grâce au couplage d'une simulation numérique et d'une manipulation d'objets physiques dans un environnement hybride de réalité augmentée tangible.**

**Nous présentons ici notre démarche de conception et la manière dont HOBIT, dont le concept pourrait être étendu à d'autres disciplines de la physique, a d'ores et déjà modifié nos pratiques pédagogiques.**

### Les raisons du développement et les objectifs de HOBIT

Et si nous parlions un peu de sciences et technologies dans l'enseignement supérieur ? Le constat que l'on fait aujourd'hui dans les universités au niveau international est que les étudiants rencontrent de multiples difficultés pour progresser dans leurs apprentissages. D'un côté ils sont quotidiennement confrontés à un monde très technologique et, d'un autre côté, ils ont souvent du mal à comprendre et manier certains concepts abstraits,

ou encore à utiliser les outils mathématiques qui constituent les briques élémentaires des différents modèles physiques.

Les difficultés se nichent autant dans les représentations des phénomènes, que ce soit dans un plan (2D) ou dans l'espace (3D), que dans la description et la manipulation de certaines grandeurs physiques qui ne sont pas directement observables comme le vecteur champ électrique, ou encore dans l'appropriation de certaines notions fondamentales comme la phase d'une onde.

Finalement, le lien entre les observations et les modèles physiques associés est devenu extrêmement difficile à établir pour une partie croissante des étudiants. Et même si l'optique, qui permet de « voir » les manifestations d'un grand nombre de notions générales de physique, joue, pour cette raison, un rôle essentiel dans les parcours de formation scientifique, il reste malgré tout très difficile pour les étudiants de s'approprier certaines notions abstraites comme les interférences ou encore la polarisation de la lumière, pour ne citer qu'elles.



a

### 1. Photos des différentes versions de HOBIT.

(a) Première version simulant un interféromètre de Michelson non reconfigurable.

(b) Dernière version permettant d'assembler librement des composants optiques grâce à un code numérique adaptatif.



b

Ce constat nous a conduits à concevoir dès 2013 un système innovant d'aide à l'apprentissage, que nous avons baptisé HOBIT et qui a fait l'objet d'un brevet en 2015 [1]. HOBIT est un acronyme anglais qui signifie *Hybrid optical bench for innovative teaching*. Il s'agit d'un dispositif technique qui mélange physique (réel) et numérique (virtuel), et qui permet de réaliser des expériences d'optique. Il repose sur des manipulations et réglages d'objets interconnectés, répliques factices des composants optiques classiques tels que des sources lumineuses, des miroirs, des lentilles ou encore des polariseurs, tandis que les phénomènes lumineux résultants sont affichés sur un écran.

Mais HOBIT permet aussi de disposer d'informations projetées aussi bien sur le plan de travail que sur l'écran d'observation, qui constitue une aide précieuse à l'apprentissage. Il s'agit d'une part de données relatives aux positions et réglages des composants optiques (par exemple l'angle d'inclinaison d'un miroir), et d'autre part des différentes modalités de représentation des grandeurs physiques (par exemple une représentation schématique de la différence de chemin optique sous forme d'équateur dans le cas d'interférences entre deux ondes issues d'une source polychromatique). Grâce à ces projections, HOBIT est un dispositif de réalité augmentée, et toutes ces « augmentations » sont mises à jour plusieurs

fois par seconde afin de donner à l'utilisateur une impression de parfaite fluidité comme lorsqu'on joue à un jeu vidéo. Ce n'est d'ailleurs pas un hasard si c'est à partir d'un moteur de jeu vidéo (Unity3D) que le logiciel de HOBIT a été développé.

### Les premières versions

La figure 1a illustre la première version développée entre 2013 et 2015. Il s'agissait d'un interféromètre de Michelson, qui ne disposait que de quatre points de réglage et de composants tous fixés à la table, tandis que le code numérique exploitait seulement deux formules mathématiques valables uniquement dans le plan d'observation de la figure d'interférences. Cependant, les aides pédagogiques sélectionnées pouvaient être activées de façon progressive à partir d'un pavé numérique, et l'enseignant pouvait par ailleurs décider de bloquer leur affichage momentanément selon ses choix pédagogiques. La version présentée sur la figure 1a a été exploitée à partir de 2015 à l'IUT de Bordeaux, d'abord à des fins d'évaluation pédagogique puis en usage routinier.

En 2018, nous avons développé une toute nouvelle version du dispositif, qui a donné lieu en 2019 à la version actuelle présentée sur la figure 1b. Il s'agit d'une table équipée de points de branchement reliés à un ordinateur, sur laquelle on peut désormais ajouter ou retirer n'importe quel composant optique. Au-delà de son réseau de capteurs communicants qui a nécessité de choisir les encodeurs et les protocoles de communication adaptés, cette nouvelle version s'appuie sur un code numérique totalement différent du précédent, qui permet de prendre en compte la propagation de la lumière depuis la source jusqu'à l'écran, en tenant compte des propriétés physiques relatives à la nature du rayonnement émis par la source et de toutes les interactions entre ce rayonnement et les composants optiques rencontrés au cours de sa propagation.

Depuis 2019, la dernière évolution de HOBIT a permis d'apporter de grandes améliorations en ce qui concerne l'ergonomie et d'étendre le panel des composants, notamment avec l'arrivée de montures en rotation, indispensables aux expériences concernant la polarisation. En 2020,

&gt;&gt;&gt;

>>>

le code numérique a été enrichi afin de permettre de nombreux paramétrages, une automatisation des changements de réglage, la visualisation et l'enregistrement des valeurs mesurées à l'aide de différents capteurs et de nouvelles aides pédagogiques.

Les questions que nous nous sommes posées au cours de notre démarche de conception et de développement ont été nombreuses :

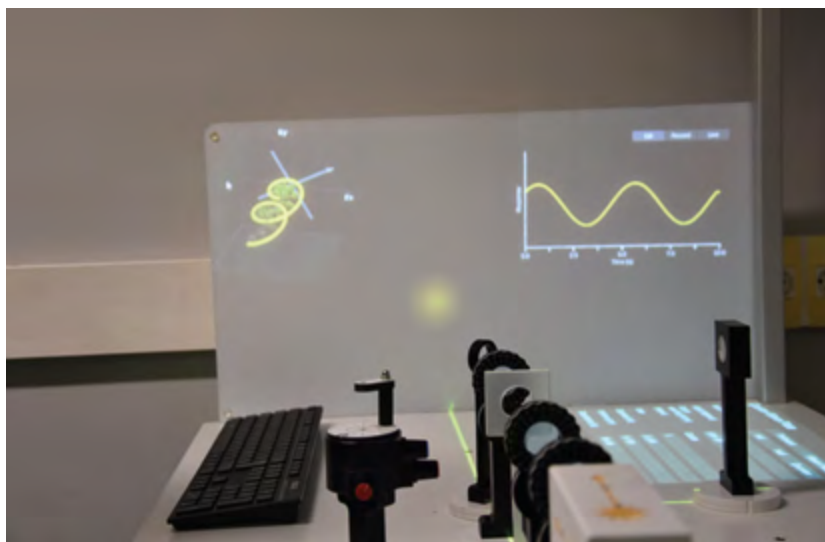
- Quel est l'intérêt de reproduire à l'aide d'un simulateur des expériences d'optique que l'on peut très bien faire avec du matériel classique ?
- L'utilisation de HOBIT permet-elle d'apprendre plus facilement ?
- Est-ce que HOBIT peut être qualifié de facile à utiliser, plaisant, stimulant ?
- Est-ce qu'on peut faire avec HOBIT plus de choses qu'avec un système classique et envisager grâce à lui une démarche de transformation des pratiques pédagogiques ?

Cette liste est loin d'être exhaustive, mais illustre bien l'état d'esprit dans lequel s'est trouvée notre équipe lors de la conception et du développement.

## Un simulateur versatile

Dans une étude [2], réalisée sur un panel de 101 étudiants à l'IUT de Bordeaux, nous avons montré que HOBIT ne présentait pas d'intérêt en tant que simple simulateur, mais que l'ajout de soutiens pédagogiques en réalité augmentée le rendait à la fois très apprécié par les étudiants et très efficace pour les apprentissages. La version utilisée pour cette étude était celle présentée sur la figure 1a, à savoir un interféromètre de Michelson. Elle a permis aux étudiants d'améliorer nettement leur compréhension des notions de phase, déphasage et battement de fréquences, tout en augmentant leur sentiment de confiance en soi et d'autonomie.

Si l'on prend comme autre exemple une expérience dédiée à l'étude de la polarisation de la lumière, HOBIT se distingue très nettement du dispositif classique par le fait qu'il permet de « voir » l'évolution du vecteur champ électrique au cours du temps à l'aide d'une représentation 3D animée (fig. 2). Ainsi, la notion de vecteur et celle de repère dans l'espace deviennent



2. Photo montrant certaines représentations lorsque HOBIT est utilisé pour étudier la polarisation de la lumière. Sur l'écran vertical, on observe en haut à gauche l'état de polarisation qui peut être vu en deux dimensions, ou comme ici en trois dimensions. La courbe en haut à droite représente les variations d'intensité que l'on obtient en faisant tourner un polariseur pour analyser l'état de polarisation montré à gauche. Sur le plan horizontal, on devine une zone graphique dans laquelle il est possible de modifier les paramètres du composant sélectionné sur le montage.

beaucoup plus faciles à appréhender, alors que le montage optique est pourtant strictement identique à celui d'une expérience classique. Cette utilisation spécifique de HOBIT a été très appréciée par les étudiants de l'IUT de Bordeaux. En 2020, nous avons conduit une évaluation destinée à étudier le transfert des compétences acquises sur HOBIT vers un dispositif classique et, en 2021, nous avons transformé nos pratiques pédagogiques en utilisant HOBIT d'abord comme une nouvelle ressource pédagogique de TP-cours, puis en le mettant en accès libre lors des séances de TP pour que chaque étudiant puisse effectuer des vérifications des montages classiques et des résultats à atteindre.

Nos différents travaux nous autorisent aujourd'hui à conclure que HOBIT permet non seulement de reproduire fidèlement les expériences classiques, mais aussi d'apporter un ensemble d'informations spécialement conçues pour aider à l'apprentissage. Le passage d'un montage à l'autre ne prend que quelques secondes, de même que le changement de source de lumière.

HOBIT permet par ailleurs de s'affranchir des problèmes de maintenance de matériel, de réglages de certaines

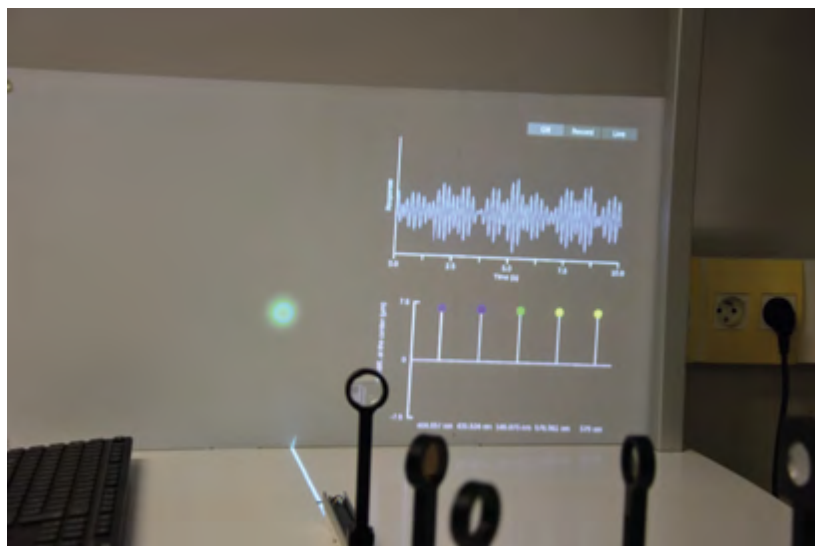
expériences et de sécurité laser. L'enseignant peut alors consacrer beaucoup plus de temps à ses objectifs pédagogiques.

Par extension, HOBIT ouvre aussi la voie à de possibles séances de travail en autonomie, souvent difficiles à mettre en œuvre avec du matériel classique, pouvant présenter des risques. Dans ce contexte, des aides pédagogiques servant de pont entre des notions abstraites, des montages/réglages et des observations/mesures peuvent être déclenchées selon des scénarios prédéfinis par l'enseignant, afin de donner accès à une progression personnalisée. Ainsi, en agissant uniquement sur le choix des augmentations, un même montage optique peut convenir pour des niveaux d'études très différents, et chaque étudiant peut aussi suivre sa progression en auto-évaluation.

## Repousser les limites

Le second intérêt d'utiliser HOBIT réside dans sa capacité à repousser les limites des systèmes pédagogiques classiques.

Si l'on considère une expérience d'optique de manière générale, on doit prendre en compte la source de



**3. Photo montrant certaines représentations lorsque HOBIT est utilisé pour étudier les interférences à deux ondes.** La courbe en haut à droite représente les variations d'intensité en fonction du temps au centre des anneaux d'interférences, mesurées par une photodiode de dimension négligeable placée dans le plan focal image d'une lentille convergente. Chaque disque coloré, représenté en bas à droite, indique la valeur de la différence de chemin optique entre les deux ondes, pour une longueur d'onde donnée. Les positions des disques évoluent lorsqu'on agit sur les paramètres du montage, et l'équaliseur permet de vérifier si l'interféromètre est bien compensé pour toutes les longueurs d'ondes.

lumière, les différents composants optiques et les supports mécaniques sur lesquels ils sont fixés, et enfin l'écran d'observation et le détecteur qui permet de réaliser des mesures. Dans un monde idéal, l'enseignant aimerait pouvoir changer de source de lumière, de composants optiques et mécaniques et de détecteur, afin de montrer l'influence de chacun d'entre eux sur le résultat final. HOBIT offre cette possibilité et permet donc de concevoir de toutes nouvelles séances de travail selon une progression pédagogique qui n'a encore jamais pu être envisagée.

Les possibilités sont infinies et nous n'en citerons ici que quelques-unes, comme celle de changer en quelques secondes les caractéristiques du rayonnement lumineux en passant d'une lampe blanche à une lampe spectrale ou encore à un laser. Il devient aussi possible de modifier les caractéristiques de n'importe quel composant optique tels que la réponse spectrale d'un filtre optique, l'épaisseur et l'indice de réfraction d'une lame, ou encore le pas d'un réseau de diffraction. Il en est de même pour les caractéristiques mécaniques des supports de composants optiques. Enfin, il devient possible de changer les

caractéristiques d'un détecteur, afin d'explorer leur influence sur le signal mesuré. En utilisant HOBIT de cette manière, il ne s'agit plus de reproduire des expériences facilement accessibles avec du matériel classique, mais plutôt d'explorer des scénarios pédagogiques encore jamais explorés lors des séances de travaux pratiques.

De plus, HOBIT permet d'automatiser n'importe quelle série de mesures optiques. En effet, il devient possible de faire varier la valeur de chaque paramètre physique (angle, position, etc.) et d'enregistrer la valeur d'intensité mesurée à l'aide d'un détecteur. À titre d'exemple, l'automatisation de la translation d'un miroir dans un interféromètre de Michelson permet d'enregistrer un interférogramme et d'en déduire ensuite le spectre du rayonnement utilisé. Tandis que cette méthode, à l'origine de la spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) est relativement compliquée à mettre en œuvre avec du matériel classique, elle devient non seulement très facilement accessible avec HOBIT (fig. 3), mais en plus celui-ci permet d'étudier l'influence de tous les paramètres expérimentaux sur le signal mesuré. Sur le même principe, HOBIT permet d'enregistrer la

variation d'intensité en fonction de l'angle de rotation d'un polariseur ou d'une lame retardatrice et de remonter ainsi à l'état de polarisation de la lumière (fig. 2).

Enfin, avec le contrôle automatisé d'un paramètre expérimental, on peut envisager de multiples extensions à HOBIT, en intégrant notamment des effets électro-optiques ou acousto-optiques, ou encore des contrôles en température pour la génération de seconde harmonique, parmi des centaines d'autres.

## Conclusion

Ces exemples illustrent le fait que HOBIT offre la possibilité de compléter, voire supplanter, n'importe quel dispositif classique et ouvre de nouvelles potentialités pour transformer en profondeur nos approches pédagogiques. Un réseau pédagogique, qui compte quatre partenaires (IUT de Bordeaux, Université de Limoges, Institut d'Optique Graduate School et Université de Bordeaux), a vu le jour en 2021 dans le cadre d'un projet financé par la région Nouvelle-Aquitaine, dans le but d'explorer les transformations pédagogiques rendues possible par HOBIT à différents niveaux d'études et de mutualiser des retours d'expériences.

Bien que HOBIT ait été développé dans le cas particulier de l'enseignement de l'optique, son principe de base peut s'appliquer à d'autres disciplines de la physique. Sa transposition au domaine de l'acoustique a d'ores et déjà été envisagée. ■

Les développements successifs de HOBIT ont été réalisés grâce aux soutiens financiers de l'université de Bordeaux, de l'Inria, de l'IUT de Bordeaux et de son Fablab Coh@bit, et enfin de la SATT Aquitaine, entre 2014 et 2020. HOBIT est commercialisé depuis 2020 par Nova Physics.



1• <https://cutt.ly/RKACkp9>

2• David Furio *et al.*, "HOBIT: Hybrid Optical Bench for Innovative Teaching", CHI'17 - Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, May 2017, Denver, United States. 10.1145/3025453.3025789. hal-01455510