

Résumé Populaire

Le souhait de l'humanité de pouvoir enregistrer et filmer des événements existe probablement depuis des millénaires. Cependant, ce n'est qu'à la fin du XIXe siècle que cela a été rendu possible pour la première fois. À ce moment-là, on admirait depuis longtemps la manière gracieuse dont les chevaux galopent, mais une seule question faisait l'objet d'un débat passionné: est-ce qu'un cheval quitte complètement le sol lorsqu'il galope? C'est l'industriel, amateur de chevaux et ancien gouverneur de Californie, Leland Stanford, qui a décidé de résoudre ce débat, non seulement par curiosité, mais la légende raconte qu'il avait misé 25000 dollars sur ses théories¹. Ainsi, il engagea le photographe Eadward Muybridge, et en 1878, ils parvinrent à capturer un film composé de quatre images du cheval, Sallie Gardner, et du jockey, Gilbert Domm, montrant enfin que les chevaux quittent le sol lorsqu'ils galopent (voir la figure). Le grand public eut du mal à accepter ces conclusions, car il trouvait les images des mouvements du cheval assez disgracieuses. De plus, beaucoup remirent même en question la raison d'interférer avec la beauté créée par Dieu dans le monde. Eadward Muybridge publia par la suite un livre de type encyclopédique sur la locomotion animale, où des sujets animaux et humains² ont été filmés avec une caméra, dont l'ouverture et la fermeture sont contrôlées par des fils de déclenchement.

Cet exploit technologique a ouvert la voie à la satisfaction de la curiosité innée des êtres humains à observer les événements naturels au ralenti. Aujourd'hui, la capacité de capturer des vidéos au ralenti ou de réaliser de la *vidéographie haute vitesse* est disponible, dans une certaine mesure, à portée de main pour chacun, offrant ainsi une expérience visuelle captivante. Toutefois, comme c'est souvent le cas en science, nous aspirons toujours à aller plus loin. Dans cette perspective, cela impliquerait de capturer des images à une vitesse encore plus élevée. Imaginez un instant que nous pouvons capturer des images à une vitesse si vertigineuse que tout semble figé: même la lumière qui se déplaçant à la vitesse maximale. Ce serait véritablement la fin de la course, n'est-ce pas? C'est là que le travail présenté dans cette thèse entre en jeu, car au cours de mon doctorat, j'ai travaillé sur le développement de techniques permettant d'atteindre des vitesses de vidéo capables de "stopper la lumière". J'ai ensuite travaillé à les appliquer à divers événements naturels, tels que les plasmas, où les choses se déplacent à des vitesses telles qu'on n'a pas d'autre choix que de filmer avec une technique du type "stopper la lumière" (une vidéo exemple réalisée par nous à Lund est montrée dans la figure).

¹Il n'y a aucune preuve de cette légende, cependant, j'aime toujours l'inclure car il a fini par dépenser environ 50000 dollars au total, soit plus que ce qu'il avait misé. Pour mettre les choses en perspective, \$50000 en 1880 valent \$1 500 000 en 2024, soit environ 15 années de ce que je coûte à mon superviseur en tant qu'étudiant en doctorat.

²Il est débattu si les sujets humains ont réellement été filmés par curiosité scientifique, car les hommes ont été filmés en train d'effectuer des tâches physiques tandis que les femmes ont été filmées, par exemple, ouvrant un parasol et se tournant en vêtements révélateurs. Quoi qu'il en soit, la nudité a suscité pas mal de controverses!

Le titre de cette thèse, **Lumière Structurée pour la Vidéographie Ultra-rapide**, se décompose en deux parties : la lumière structurée et la vidéographie ultra-rapide. L'entrelacement de ces deux concepts constitue la pierre angulaire des discussions développées dans ce document de recherche.

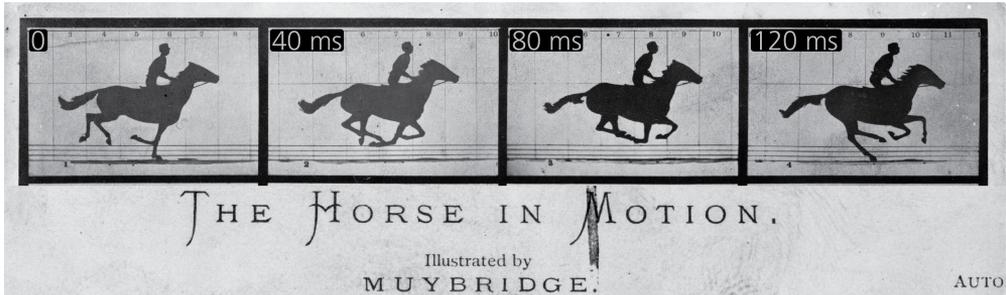
La vidéographie ultra-rapide implique la capture de phénomènes ultra-rapides. Et non, je ne plaisante pas, le terme scientifique est effectivement ultra-rapide. Ce type d'événement (comme la rotation des molécules ou la création de canaux lumineux au plasma appelés filaments) se produit sur des échelles de temps plus rapides qu'une picoseconde, c'est-à-dire 0.000000000001 secondes (c'est 11 zéros après la virgule). Par conséquent, pour capturer de tels événements, nous devons filmer à des vitesses correspondantes au-dessus de 1 000 000 000 000 images par seconde³. C'est tellement rapide que si l'on compare le temps d'obturation nécessaire de l'appareil photo à une seconde, cela équivaldrait à comparer une journée à l'âge de l'univers!

Ces vitesses d'obturation sont tellement rapides que la vitesse des électrons (les porteurs d'informations dans les caméras) à l'intérieur des circuits électroniques des caméras est tout simplement trop lente pour que cette approche soit utile. Par conséquent, il est nécessaire d'utiliser la lumière à la place, en particulier des impulsions laser ultracourtes. Dans cette partie du titre, **Lumière Structurée**, des impulsions lumineuses sont générées et contrôlées pour (1) éclairer l'événement de manière similaire à un stroboscope, mais à une vitesse ultrarapide, et (2) elles sont structurées de manière à présenter des motifs rayés uniques imprimés sur elles. Comme le montrera cette thèse, ces deux manipulations réunies sont suffisantes pour ouvrir le domaine de la vidéographie ultra-rapide.

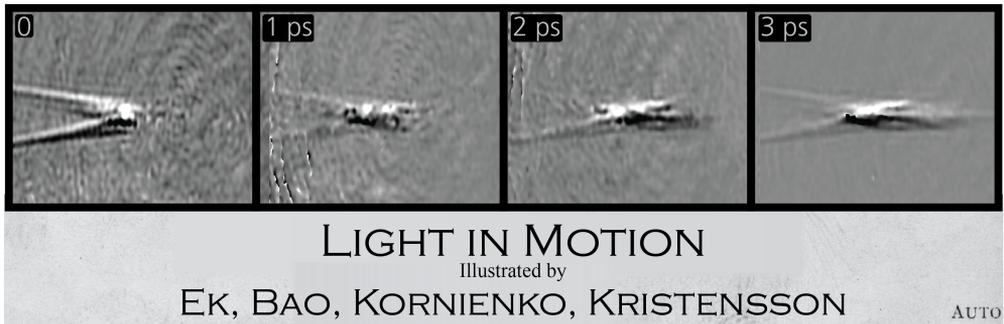
Au sein de ce travail de thèse, financé par vous, lecteur taxé, je plonge d'abord dans le monde magique de l'optique, des lasers, de l'imagerie et de la vidéographie, cherchant à comparer toutes ces technologies à ce que nous avons de plus proche, nos yeux et notre vision (j'encouragerais même les non-physiciens à lire cela). Ensuite, je discute en profondeur des technologies existantes et de leur fonctionnement interne, telles que les systèmes laser et les systèmes de caméras haute vitesse. Je poursuis avec une discussion sur les mathématiques nécessaires avant d'aboutir et de montrer au lecteur qu'au cours de mon doctorat, nous avons été capables de développer non seulement des systèmes de vidéographie ultra-rapide de niche, mais aussi un système vidéo haute vitesse commercialement viable. Avec cela, j'espère que vous avez eu et aurez une bonne lecture.

³Pour référence, les films standard sont filmés et projetés sur votre télévision ou écran d'ordinateur à 24 ou 144 images par seconde respectivement.

1877: 25
frames per second / bilder per sekund / images par seconde



2024: 1 000 000 000 000
frames per second / bilder per sekund / images par seconde



Eng: From the horse to light in motion. What a long way videography has come, eleven orders of magnitude, i.e., 10^{11} , faster!

Swe: Från hästan till ljus i rörelse. Vad långt filmning har kommit, elva storleksordningar snabbare, dvs 10^{11} gånger snabbare!

Fr: Des chevaux à la lumière en mouvement. Quel chemin long la vidéographie a parcouru, onze ordres de grandeur, c'est-à-dire 10^{11} fois plus rapide!