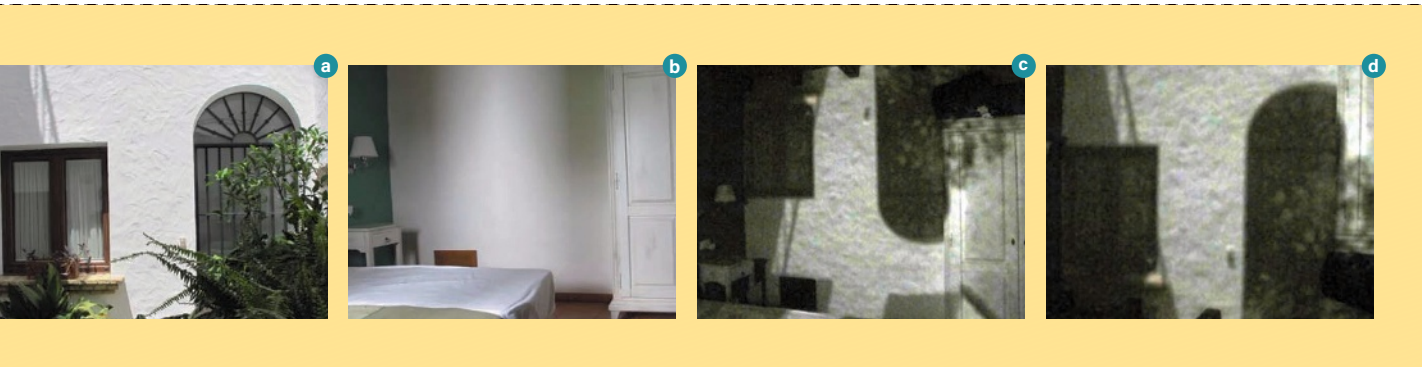




la chambre d'hôtel, n'importe quel petit objet obstruant la lumière conduit à la formation d'images un peu partout.

Imaginez filmer le mur intérieur d'une pièce à travers un petit orifice dans le store de la fenêtre. Vous ne voyez pas grand-chose ! Soudain, le bras d'une personne traverse votre champ de vision. La comparaison de l'intensité de la lumière sur le mur quand le bras est présent puis absent renseigne sur la scène. Des rayons lumineux touchant le mur dans une image de la vidéo sont brièvement bloqués par le bras dans la suivante. En soustrayant les données de la deuxième image de celles de la première, vous pouvez deviner ce que cachait le bras, en l'occurrence des rayons lumineux issus d'une partie de la pièce. En regardant ce qui bloque la lumière autant que ce qui la laisse passer, vous étendez le répertoire d'images du type de celles que génère un sténopé.

Outre leurs travaux sur les sténopés afin de mieux détecter des petits changements d'intensité, Bill Freeman et ses collègues ont aussi mis au point des algorithmes destinés à analyser et amplifier les changements subtils de couleur, comme ceux qui se produisent sur le visage humain quand le sang est pompé à travers ses vaisseaux, ainsi que de minuscules mouvements, notamment ceux des paquets de chips.

La résolution est telle qu'ils détectent désormais des mouvements qui seraient normalement noyés dans le bruit. Leur méthode consiste à transformer mathématiquement des images en ondes sinusoïdales. De la sorte, le signal n'est pas dominé par du bruit, car les ondes sinusoïdales représentent des moyennes

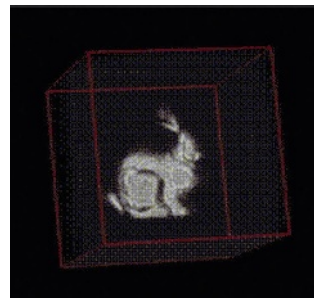
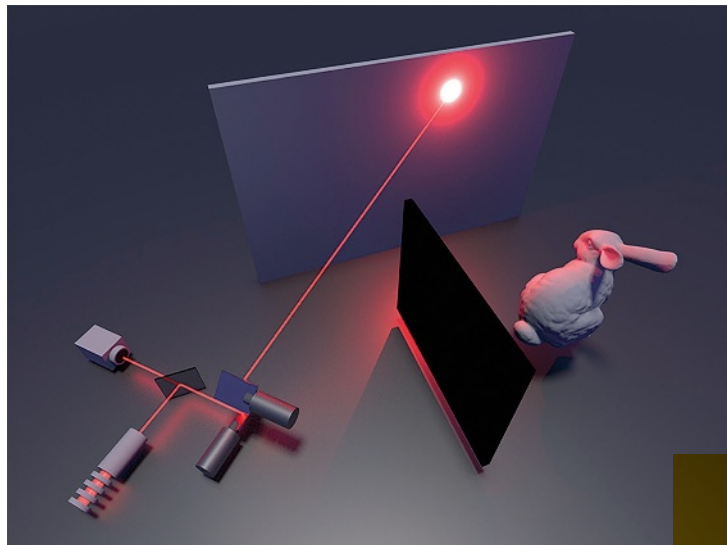
sur de nombreux pixels : le bruit est réparti. Les chercheurs peuvent par conséquent détecter des changements dans les ondes sinusoïdales d'une image à une autre dans une séquence vidéo, amplifier ces modifications et les transformer à nouveau en images.

CHEMISE ROUGE ET PLANTE VERTE

En combinant ces astuces, il devient possible d'accéder à des informations visuelles cachées. En 2017, Katie Bouman, à l'époque dans l'équipe de Bill Freeman et aujourd'hui au centre Harvard-Smithsonian d'astrophysique, a montré que les coins des bâtiments agissent comme des caméras qui créent des images grossières de ce qui se trouve derrière l'angle.

Comme dans le sténopé et l'antisténopé, les coins et les rebords restreignent le passage des rayons lumineux. En utilisant du matériel ordinaire, même des smartphones, en plein jour, Katie Bouman et ses collègues ont filmé la zone plus ou moins ombrée (la pénombre), éclairée par des rayons lumineux venant de derrière l'angle d'un bâtiment. Si par exemple une personne portant une chemise rouge y marche, le vêtement projette une toute petite quantité de lumière rouge dans la zone de pénombre filmée, invisible à l'œil nu, mais claire comme de l'eau de roche après traitement.

En 2018, Bill Freeman et ses collègues ont reconstruit une image de l'intensité et de la direction des rayons lumineux dans toute la pièce (on parle de « champ lumineux ») à partir des ombres projetées par une plante verte située près du mur. Les feuilles agissent



← Dans l'imagerie active hors ligne de visée, la lumière d'un laser rebondit sur un mur, est dispersée par un objet caché derrière une cloison (*ici un lapin*), puis rebondit à nouveau dans la direction de laquelle elle est venue (*ci-contre*). La lumière réfléchie peut être utilisée pour reconstruire l'objet en trois dimensions (*ci-dessus*).

34

chacune comme un antisténopé, bloquant un ensemble différent de rayons lumineux. Analyser l'ombre des feuilles révèle les rayons manquants et aide par conséquent à révéler des images d'une partie de la scène cachée que l'on peut ensuite réunir.

Cette technique du champ lumineux livre des images bien plus nettes que les méthodes précédentes fondées sur des caméras accidentelles. La forme connue de la plante d'intérieur, la supposition que les images naturelles tendent à être lisses, et d'autres informations offrent aux chercheurs des renseignements sur le bruit et les aident donc à produire des images plus précises.

ÉPARPILLÉ FAÇON PUZZLE

Tandis que Bill Freeman, Antonio Torralba et leurs collègues exploraient des images jusqu'alors négligées, ailleurs, sur le campus du MIT, Ramesh Raskar développait une technique nommée « imagerie active » (par opposition à l'imagerie passive des précédents). L'idée consiste à envoyer des impulsions laser sur un mur de sorte qu'une petite fraction de la lumière rebondisse et se réfléchisse de l'autre côté d'une cloison cachant un objet. Quelques instants après chaque impulsion, une « caméra à balayage ultrarapide » enregistre

individuellement les photons renvoyés sur le mur par l'objet dissimulé à des milliards d'images par seconde.

En mesurant les temps de trajet des photons recueillis, les chercheurs reconstruisent la géométrie tridimensionnelle détaillée des objets cachés derrière la cloison. La tâche est néanmoins complexe, car les chercheurs doivent notamment connaître toutes les trajectoires possibles des photons laser, ce qui les oblige à analyser la géométrie du mur.

De plus, avec, par exemple, une personne cachée, « la lumière d'un point particulier sur la tête, d'un autre sur l'épaule et d'un troisième sur le genou peuvent toutes arriver [à la caméra] exactement au même moment, explique Ramesh Raskar. Mais si je décale légèrement le laser et le détecteur [dans un système dit "non confocal"], les lumières de ces trois points ne seront plus simultanées ». On reconstruit ensuite la géométrie 3D de l'homme invisible en résolvant ce qu'on appelle le