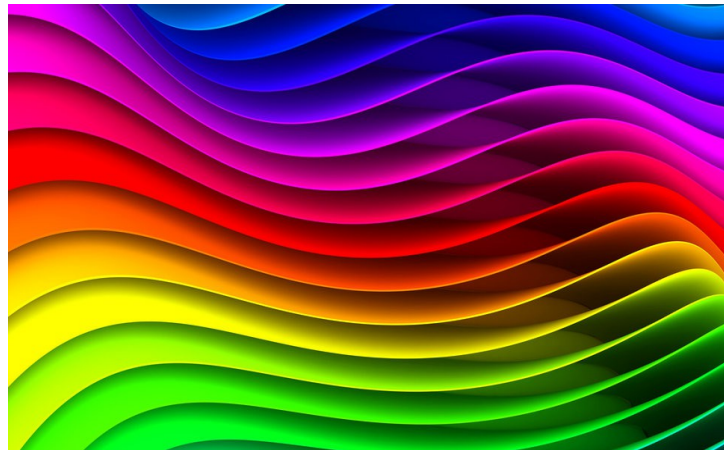


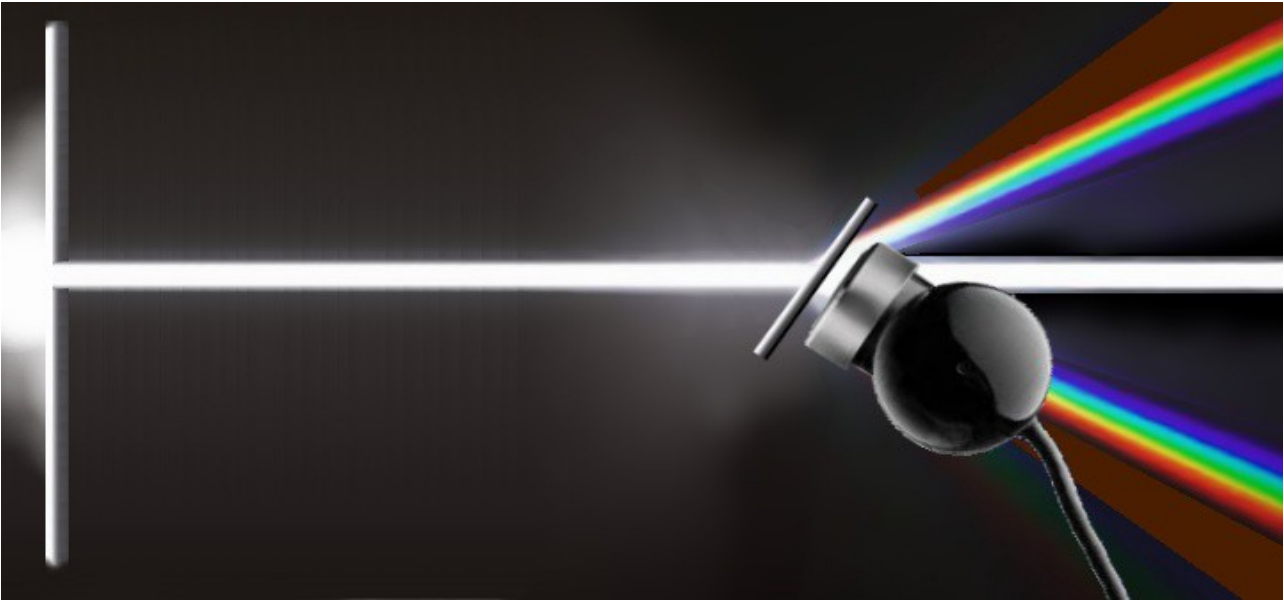
theremino
•the•real•modular•in-out•

Theremino **System**

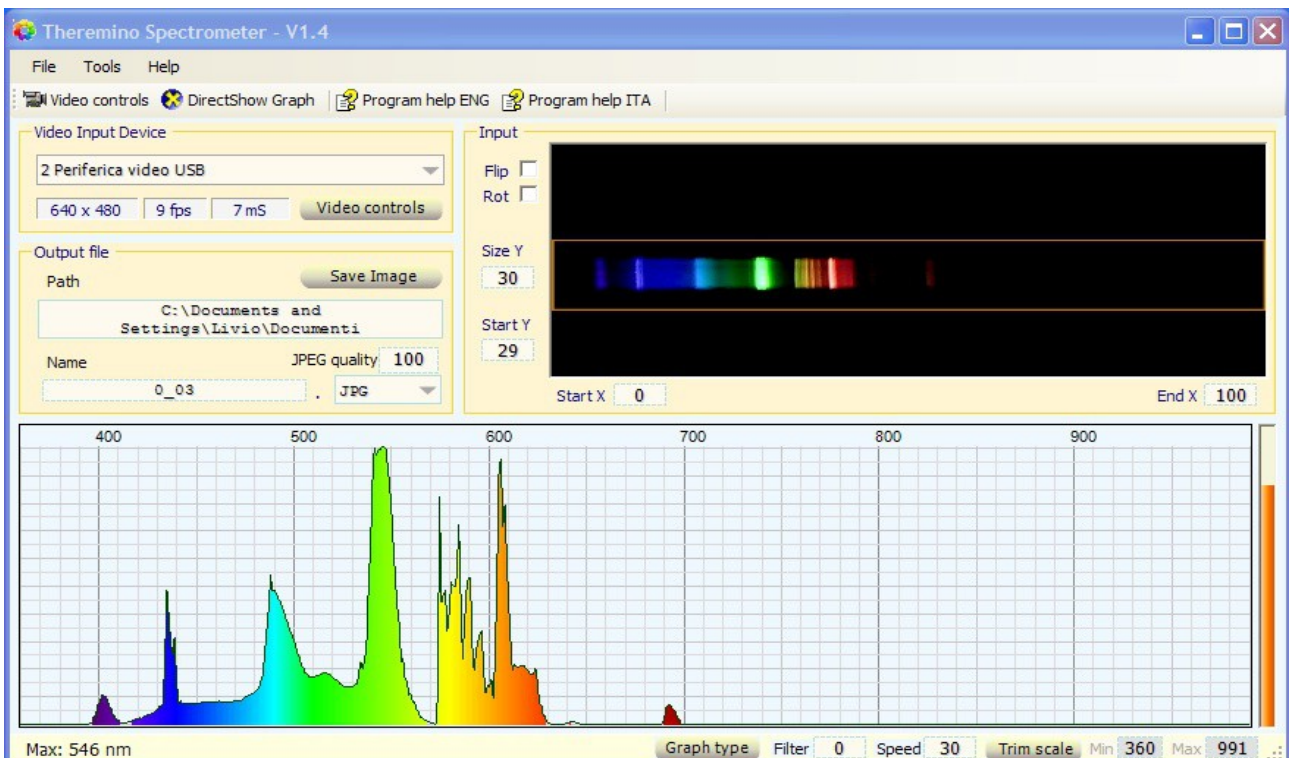


Le Spectromètre Theremino Technologie

Principes de fonctionnement



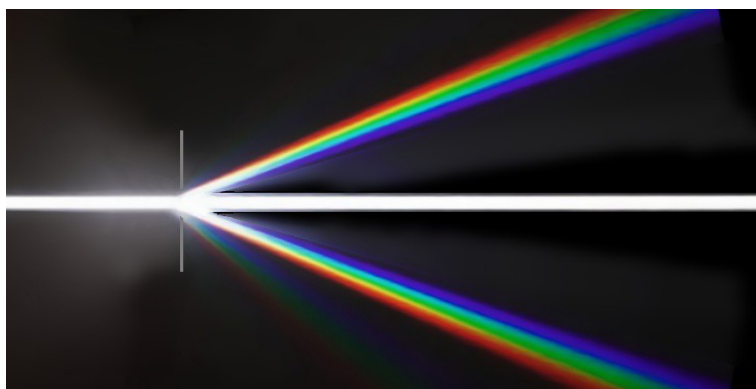
En plaçant un réseau de diffraction devant l'objectif d'une caméra digitale, et en inclinant celle-ci par rapport au rayon incident, nous obtenons que les composantes lumineuses bleues, violettes et ultraviolettes atteignent les pixels les plus à gauche de l'image, tandis que les rouges et infrarouges atteindront les pixels les plus à droite. Dans cette image, la lumière infrarouge (invisible) est représentée par la couleur brun foncé. Pour pouvoir mesurer l'infrarouge, il est indispensable d'enlever le filtre anti-infrarouge présent dans la caméra.



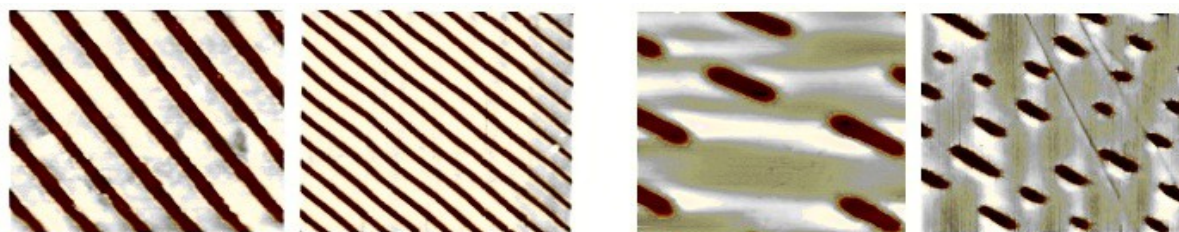
Le software calcule l'intensité de la lumière atteignant chaque pixel et est donc capable de mesurer l'énergie pour chaque couleur. La caméra ne doit pas nécessairement détecter la couleur des photons collectés. Ce qui importe, c'est l'intensité et la position. Même une caméra monochrome N/B serait adéquate, le rouge n'atteignant que certains pixels, le vert d'autres, et le violet, l'ultraviolet et l'infrarouge d'autres encore.

Réseau de diffraction utilisant des disques optiques

Les CD's et DVD's sont composés d'une couche de plastique transparent qui, séparée des autres couches du disque, se comporte comme un réseau de diffraction. Ceci parce qu'un microsillon, pratiquement invisible à l'œil nu, est gravé en surface.



Une lumière contenant différentes longueurs d'onde, comme par exemple la lumière blanche d'une lampe ou la lumière du soleil, est décomposée par le réseau et chaque longueur d'onde est déviée suivant un angle spécifique différent.



Sur ces images grossies, on aperçoit les sillons du CD et ceux du DVD, plus denses. Lors de l'écriture du disque, ces sillons sont interrompus en petits points et barres. C'est pourquoi un DVD enregistré convient moins bien à la réalisation d'un réseau de diffraction (La lumière "éparpillée" étant plus faible).

Utiliser un CD ou un DVD?

Nos tests ont montré que les meilleurs résultats sont obtenus par l'utilisation du DVD en mode transmission (pas de réflexion).

Les pages suivantes présentent différentes possibilités utiles pour l'enseignement et, pour les expérimentateurs avertis, présentent d'autres méthodes de réflexion comme les réseaux de diffraction commerciaux, les prismes et autres...

Ceux qui désirent construire un spectromètre simple, sans étudier la théorie, peuvent découper un morceau de forme carrée dans un DVD, le coller sur l'extrémité de l'objectif d'une WebCam, et sauter directement au contenu du fichier "Theremino Spectrometer Construction".

Les réseaux de diffraction commerciaux



Les réseaux de diffraction commerciaux sont disponibles sous forme de rouleaux de fin plastique. On les vend sur Ebay, coupés en morceaux de 15x30cm, pour 3€ environ, hors frais d'envoi. Ils sont disponibles en deux versions: 500 ou 1000 lignes par millimètre. Il est conseillé d'acheter les deux versions, pour ne payer qu'un seul envoi, ou de n'acheter que la version 1000 lignes, qui est la meilleure option pour la plupart des caméras.

Les réseaux de diffraction sont plus efficaces que des morceaux de CD ou DVD (intensité de lumière dispersée plus importante). La description est la suivante: "Holographic Diffraction Gratings, highly efficient embossed Holographic Optical Elements (HOE)".

http://www.ebay.it/itm/280859388704?ru=http%3A%2F%2Fwww.ebay.it%2Fsch%2Fi.html%3F_sacat%3D0%26_from%3DR40%26_nkw%3D280859388704%26_rdc%3D1

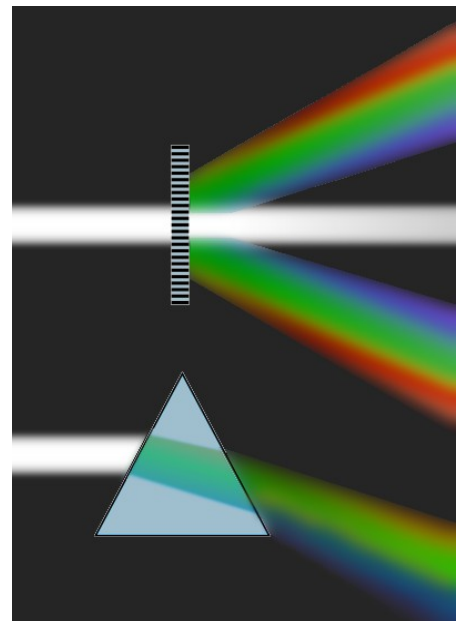
Les prismes

Les prismes ont un comportement similaire à celui du réseau de diffraction mais dévient la lumière de façon différente.

Les prismes dévient la lumière d'un côté, tandis que le réseau la dévie de deux côtés. En théorie donc, avec un prisme, nous devrions avoir plus de lumière colorée et nous devrions les préférer.

En pratique cependant, il vaut mieux ne pas les utiliser car ils élargissent la zone du bleu et compriment la zone du rouge et infrarouge.

La déviation produite par les prismes n'est pas linéaire, comme illustré sur ces deux images.



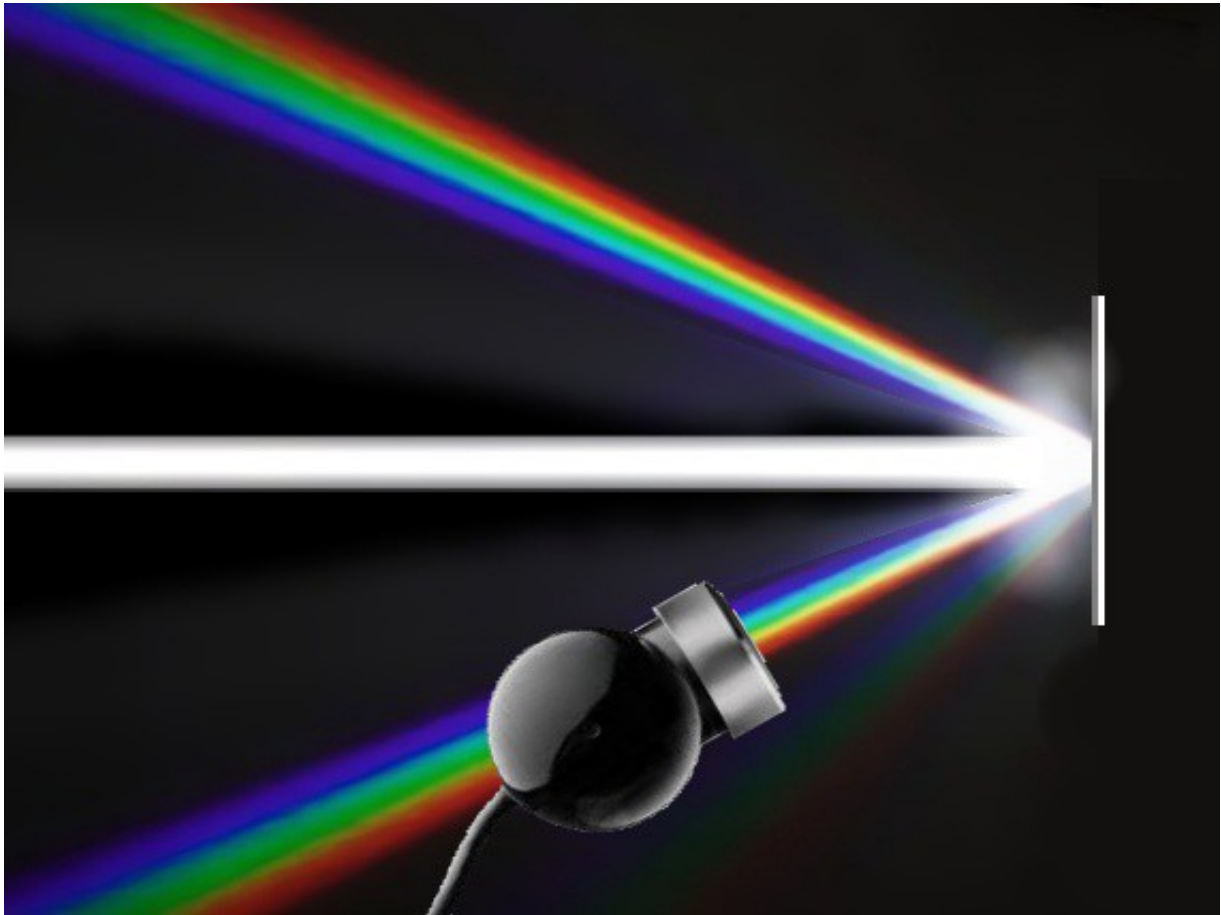
Échelle de mesure produite par un réseau de diffraction



Échelle de mesure produite par un prisme

Le prisme élargit les zones du bleu et du vert, et comprime la zone du jaune au rouge (et comprime l'infrarouge encore plus). Avec un prisme, les points de références ne seraient pas espacés uniformément, et la calibration deviendrait plus difficile.

Le mode Réflexion



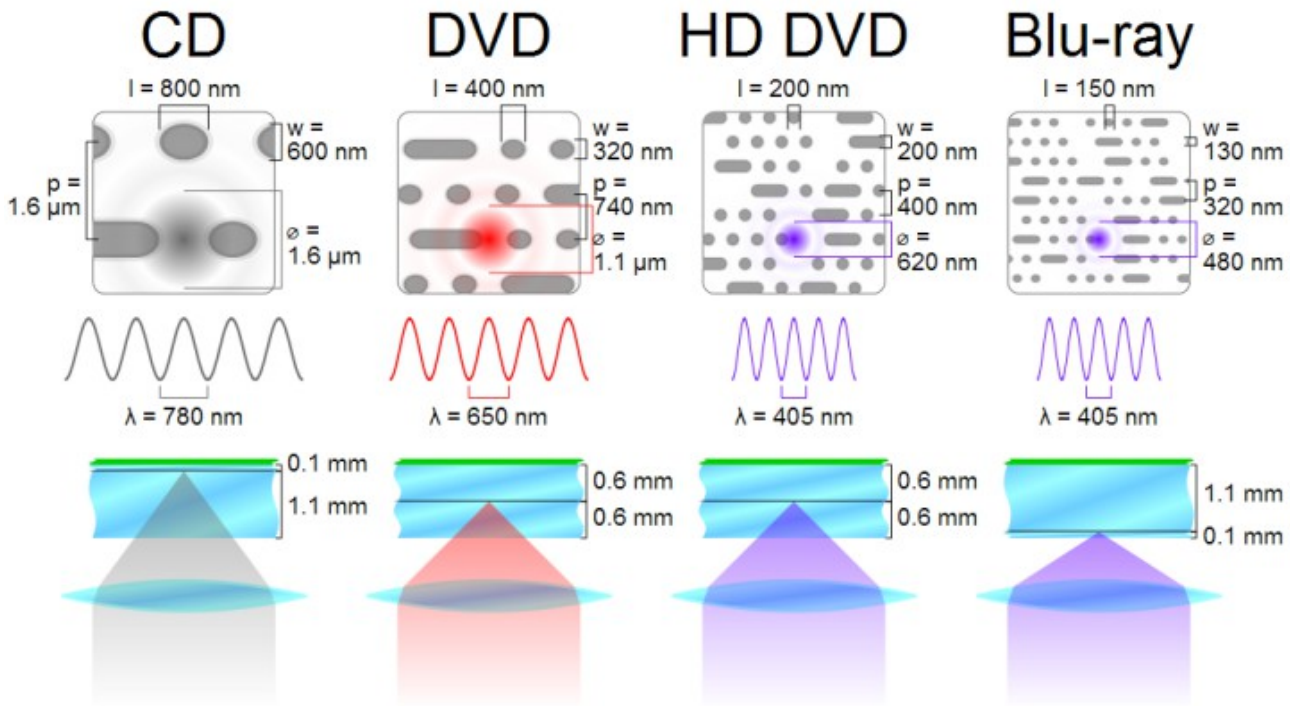
Théoriquement, le mode réflexion devrait nous fournir une plus grande intensité de lumière colorée et aurait aussi comme avantage que l'on ne doit pas supprimer la couche métallisée du DVD.

En pratique, cependant, ce mode d'utilisation cause des problèmes variés:

- ◆ La couche de plastique transparent est traversée deux fois (et plus avec des angles différents), et ceci tend à rendre la lumière plus diffuse et à élargir les lignes de spectre.
- ◆ Comme on ne peut pas l'appliquer sur l'objectif de la caméra, il faudrait le maintenir avec un statif "sur mesure".
- ◆ Les inclinaisons du réseau et de la caméra doivent être réglées sur deux angles différents, et trouver ces angles est difficile.
- ◆ Si le réseau n'est pas parfaitement plane, des distorsions non-linéaires apparaissent sur l'échelle de mesure des longueurs d'onde.

Nos tests avec le système en mode réflexion n'ont donné que de piètres résultats: lignes plus larges, faible résolution, plus de réflexions et artefacts. De plus, l'étalonnage était plus difficile et plus sensible aux variations de position et de rotation, aussi bien du réseau de diffraction que de la caméra.

Comparaison des réseaux de diffraction CD et DVD



Les microsillons sont plus denses dans le DVD. Il est donc conseillé de l'utiliser, plutôt qu'un CD, pour obtenir une meilleure séparation entre les lignes du spectre.

Type de réseau (réflexion)	Lignes par millimètre	Espacement lignes (nm)	Déviation en degrés pour différents longueurs d'ondes					
			400 nm	500 nm	600 nm	700 nm	800 nm	900 nm
CD	625	1600	14	18	22	26	30	34
DVD	1350	740	33	43	54	71	-	-
HD DVD	2500	400	-	-	-	-	-	-
Blu-ray	3125	320	-	-	-	-	-	-
Réseau de diffraction commercial	500 or 1000	2000	12	14	17	20	24	27
		1000	24	30	37	44	53	64

La formule pour calculer l'angle est: **déviaton en degrés = arcsin (longueur d'onde / distance entre les lignes)** et se réfère à un **réseau perpendiculaire au faisceau entrant**. Les DVD ne semblent pas pouvoir détecter/dévier les infrarouges (au dessus de 700 nm), mais puisque nous maintenons le réseau parallèle à la lentille de la caméra, nous pouvons quand même récupérer la zone infrarouge.

En fonction de la distance focale la caméra (angle plus ou moins large), il sera préférable d'utiliser un CD, un DVD, un réseau de 500 lignes/mm ou de 1000 lignes/mm. Les HD-DVD et les Blu-ray ne conviennent pas car ils dévient les couleurs de façon trop importantes.

Si le réseau dévie de trop, on ne pourra pas projeter le spectre entier (de 350 nm à 1000 nm, infrarouge inclus), sur le champ visible de la caméra. Si il dévie trop peu, il y aura plus de 2 nm de pixel en pixel, et la résolution sera faible. L'idéal, ce serait d'obtenir une résolution d'un nm par pixel, ou un peu mieux.

Les caméras qui ont plus de 640 pixels par ligne peuvent aider, mais la charge CPU sera plus importante.

Préparation des CD et DVD



Type de réseau	Notes
CD	Pour le préparer, ne séparez pas en deux moitiés, mais pelez la surface du dessus (qui contient des inscriptions), au moyen d'un ruban adhésif.
DVD	Pour le préparer, séparez les deux moitiés, soulevez la pellicule métallique d'un côté et pelez-la, au moyen d'un ruban adhésif si nécessaire.
HD DVD	Pour le préparer, séparez les deux moitiés, soulevez la pellicule métallique d'un côté et pelez-la, au moyen d'un ruban adhésif si nécessaire.
Blu-ray	Nous n'avons pas essayé ces disques. Les préparer comme le CD probablement.
Réseau de diffraction commercial	Il est prêt à l'emploi et ne nécessite aucune préparation.