



# LE NOIR, C'EST CLAIR.



Lien vidéo : <https://youtu.be/KdNIO7p8MqE>

## **TABLE DES MATIÈRES**

<b>PRESENTATION DE L'EQUIPE</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCTION, PROBLEMATIQUE</b>	<b>3</b>
<b>RENCONTRES AVEC NOS PARTENAIRES</b>	<b>4</b>
MUSEE SOULAGES.	4
JOEL CHEVRIER, ENSEIGNANT CHERCHEUR AU LIPHY, UNIVERSITE GRENOBLE ALPES.	7
FREDERIC PITOUT, ASTROPHYSICIEN A L'IRAP DE TOULOUSE.	9
<b>NOS DEMARCHES EXPERIMENTALES</b>	<b>12</b>
1- COMMENT EXPLIQUER LE NOIRCISSEMENT DE LA BOGUE DE NOIX ?	12
2- COMMENT EXPLIQUER LA LUMINOSITE DES OUTRENOIRS ?	16
2.1-COMMENT PROUVER QU'UN OBJET NOIR PEUT REFLECHIR LA LUMIERE ?	16
2.2-COMMENT EXPLIQUER LA DIFFERENCE ENTRE UN NOIR BRILLANT ET UN NOIR MAT ?	17
2.3-QUE DEVIENT LA LUMIERE ABSORBEE PAR LES OBJETS NOIRS ?	19
2.4-QUEL ROLE JOUENT LES STRIES SUR LE POUVOIR REFLECHISSANT DE LA MATIERE ?	22
2.5-COMMENT EXPLIQUER LES ASPECTS COLORES DES OUTRENOIRS ?	25
2.6-QUELLE EST L'INFLUENCE DE LA COMPOSITION DE LA PEINTURE ?	29
<b>CONCLUSION, PERSPECTIVES</b>	<b>33</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>34</b>

## LES ELEVES DE L'ATELIER SCIENTIFIQUE

[Redacted]					
Justine	Elia	Rachel	Elyne	Alicia	Lilou
[Redacted]					
Alix	Cédric	Léandre	Nëya	Fanny	Rhianna
[Redacted]					

## NOS PARTENAIRES

			
<p><b>Christel LAGARRIGUE</b></p> <p><i>Animatrice culturelle au Musée Soulagés de Rodez.</i></p>	<p><b>Joël CHEVRIER</b></p> <p><i>Enseignant chercheur à l'Université Grenoble Alpes, Laboratoire Interdisciplinaire de Physique, commissaire scientifique de l'exposition "Noir, c'est noir ?" (2016-2017) au sujet des Outrenoirs de Soulagés.</i></p>	<p><b>Frédéric PITOUT</b></p> <p><i>Astrophysicien à l'IRAP de Toulouse.</i></p>	<p><b>Dominique PIVETEAUD</b></p> <p><i>Artiste plasticien.</i></p>

## INTRODUCTION, PROBLEMATIQUE

Pierre Soulages est né à Rodez le 24 décembre 1919 et mort à l'âge de 102 ans le 26 octobre 2022. C'était un artiste mondialement connu pour être le peintre du noir.

Nous habitons Rieupeyroux dans l'Aveyron, à quelques kilomètres de Rodez. Nous sommes douze élèves de niveaux 5<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> volontaires pour travailler cette année, lors d'un Atelier Scientifique et Technique, sur Soulages. Plusieurs d'entre nous ont déjà visité le musée Soulages à Rodez avec l'école primaire ou en famille. Soulages est un artiste connu pour nous.

En cours de physique, nous avons appris que les objets noirs absorbent toute la lumière qu'ils reçoivent. L'observation des *Outrenoirs* peints par Soulages nous interroge sur le noir :

### Comment expliquer l'œuvre de Soulages grâce aux sciences ?



Pierre Soulages (1919-2022)

Pour notre projet, nous avons été aidés par le **musée Soulages**, par **Joël Chevrier** (*physicien à l'Université de Grenoble Alpes*), par **Frédéric Pitout** (*astrophysicien à l'IRAP*), par le Centre culturel de Rieupeyroux et par **Dominique Piveteaud** (*artiste*). Nos professeurs de **physique chimie, technologie, SVT et arts plastiques** nous ont aussi soutenus dans notre démarche.

## RENCONTRES AVEC NOS PARTENAIRES

Le 13 octobre 2022, nous avons visité le **musée Soulages** à Rodez pour découvrir ou redécouvrir les œuvres du peintre, observer, et nous poser des questions.

Nous avons été guidés par **Christel Lagarrigue**, animatrice culturelle, qui nous a expliqué le parcours de Pierre Soulages ainsi que ses différentes techniques et périodes artistiques.



Les élèves de notre atelier scientifique devant le musée Soulages.

### Observation 1 :

Christel Lagarrigue nous a montré des peintures réalisées avec du brou de noix (*utilisé par les ébénistes pour teindre le bois*). Le brou de noix est un liquide fabriqué à partir de la bogue de noix noircie.



En ce mois d'octobre, nous avons pu voir un cageot avec des bogues de noix vertes en train de noircir. C'est le point de départ de notre première question :

**Comment expliquer le noircissement de la bogue de noix ?**



Soulages. *Brou de noix sur papier 65,4 x 50,3 cm ; 1949.*

## **Observation 2 :**

Nous avons pu observer des *Outrenoirs*. Le mot « Outrenoir » a été inventé par Pierre Soulages en 1990. Il s'agit d'une série de très grandes toiles entièrement recouvertes de peinture noire à l'huile ou à l'acrylique. Pourtant, lorsque nous regardons ces toiles, nous avons une sensation de lumière. Nous voyons des reflets blancs, jaunes, dorés, marron, bleus en fonction de l'endroit où nous les observons.

Christel Lagarrigue nous a expliqué que Pierre Soulages n'a utilisé qu'un seul pigment noir pour réaliser ses *Outrenoirs*. On parle de peinture monopigmentaire et non de peinture monochromatique.

Pour obtenir ces effets visuels, Pierre Soulages a lissé, raclé, brossé, strié les couches de peinture déposées. Pour cela, il a créé ses propres outils. Certaines fois, il a joué sur les liants ajoutés au pigment noir pour obtenir des teintes mates ou brillantes.

Pour nous, qui avons appris qu'un objet noir absorbe toute la lumière reçue, il y a de quoi s'interroger :

### **Comment expliquer les aspects colorés des *Outrenoirs* ?**

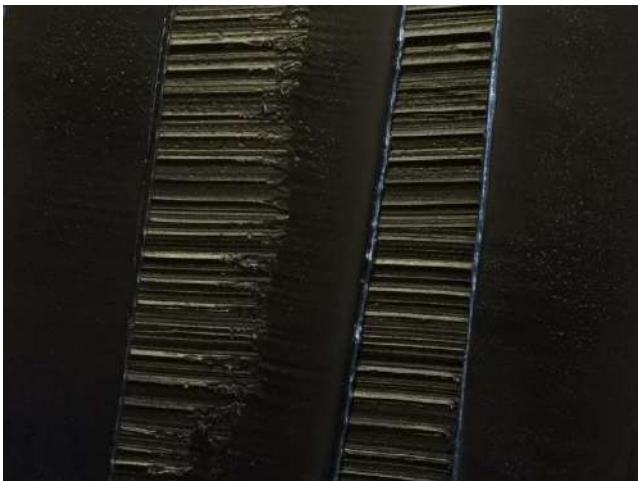
**Quelle est l'influence de la composition d'une peinture sur son pouvoir réfléchissant ?**

**Quel rôle jouent les stries sur le pouvoir réfléchissant de la matière ?**

De manière plus générale : **comment expliquer la luminosité des *Outrenoirs* ?**



Exemple d'*Outrenoir* avec des reflets dorés.



Détail d'un *Outrenoir* avec des reflets verts, bleus, dorés.



Vue d'un *Outrenoir* à l'aspect complètement doré, on ne voit plus de noir.

### Observation 3 :



Une autre toile nous a également intrigués. Une même peinture noire a été utilisée, déposée sur un fond blanc et sur un fond violet. La sensation de noir ne nous paraît pas la même. Est-ce une illusion d'optique ? Nous savons que les illusions d'optique sont liées à une interprétation du cerveau.

**Le cerveau joue-t-il un rôle dans la perception des différentes teintes du noir ?**

Après la visite du musée, nous avons bien compris qu'un objet noir peut ne pas absorber toute la lumière reçue, il en réfléchit une partie. Nous nous sommes pourtant demandé :

**Comment prouver qu'un objet noir peut réfléchir de la lumière ?**

**Que devient la lumière absorbée par les objets noirs ?**



Joël Chevrier.



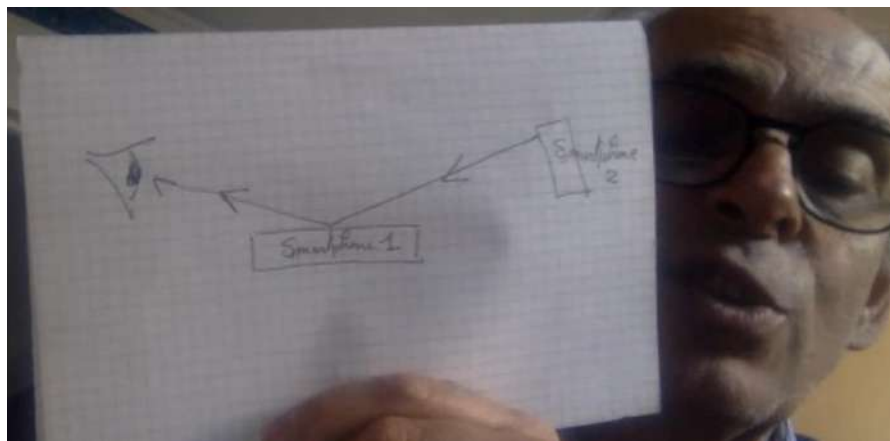
Notre groupe lors de la visio.

Le 7 novembre 2022, nous avons pu faire une visioconférence avec **Joël Chevrier**, physicien au **Laboratoire Interdisciplinaire de Physique de l'Université Grenoble Alpes**. Il travaille dans le domaine des nanosciences. Joël Chevrier a écrit de nombreux articles sur Pierre Soulages et il a rencontré l'artiste à plusieurs reprises.

Nous lui avons parlé de nos interrogations à la sortie du musée et en particulier de la vision de couleurs sur une surface noire. Il nous a dit que la vision des couleurs sur une surface pouvait avoir plusieurs causes. Elle peut s'expliquer par :

- la composition du matériau utilisé,
- la couleur de la lumière qui arrive sur la surface (*lumière incidente*),
- les positions de l'éclairage et de l'observateur par rapport à la surface,
- la diffraction de la lumière sur certaines surfaces (*comme les plumes d'oiseau, un écran de smartphone éteint ou un CD par exemple*). Ces surfaces présentent des stries très resserrées (*ou des pixels*). Elles font « éclater » la lumière qui les éclaire, ainsi on peut voir certaines couleurs sur une plume noire ou un arc en ciel sur l'écran du téléphone ou sur un CD.

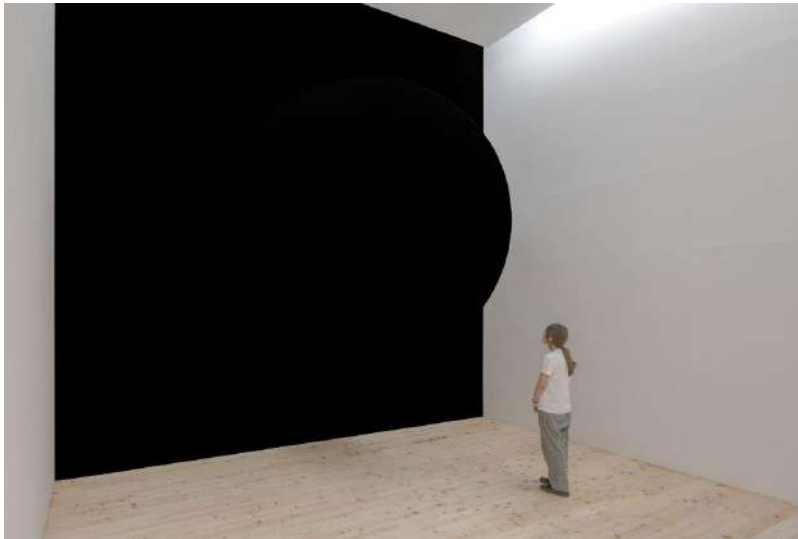
Nous décidons de prendre chacune de ces explications comme **hypothèses** pour répondre à la question : **comment expliquer la luminosité des *Outrenoirs* ?**



Explication de la diffraction de la lumière par un écran de smartphone.



Joël Chevrier nous a aussi expliqué que la lumière incidente peut être réfléchiée, transmise ou absorbée par une surface. Il nous a parlé du peintre Anish Kapoor qui, au contraire de Soulages, ne joue pas sur la réflexion de la lumière par une surface noire mais sur l'absorption totale de la lumière par une peinture appelée Vantablack. Cette peinture est constituée de nanotubes de carbone qui piègent la lumière incidente.



Une œuvre d'Anish Kapoor.

Joël Chevrier nous a proposé de réaliser dans notre atelier une expérience qui permet de comprendre ce piégeage de la lumière. Il faudra, pour cela, utiliser un grand nombre de lames de rasoir assemblées les unes aux autres. Entre les lames, la lumière incidente est réfléchiée et ne ressort pas, comme si elle tombait dans un puits.

Pour comprendre la luminosité des *Outrenoirs*, Joël Chevrier nous a conseillé de faire des essais en fabriquant des faux Soulages par exemple.



Explication du phénomène du puits de lumière.



Les vitraux de Conques.

Pour terminer, Joël Chevrier nous a parlé des vitraux de l'abbatiale de Conques (*Aveyron*) réalisés par Pierre Soulages. Il ne s'agit pas de noir mais l'artiste a fabriqué ses propres verres pour obtenir l'effet qu'il souhaitait. Ces vitraux vont faire l'objet d'un programme de recherche du CNRS pour comprendre la transmission de la lumière dans ces verres particuliers. Nous constatons que les œuvres de Pierre Soulages intéressent beaucoup le milieu scientifique.

Le 8 novembre, **Frédéric Pitout**, astrophysicien à l'**IRAP** de Toulouse, est venu faire une intervention sur le noir et l'astronomie. Il nous a permis d'avoir des réponses à plusieurs questions que nous nous posions.

### **Pourquoi le ciel est-il noir la nuit et bleu le jour ?**

La lumière du Soleil est constituée de toutes les lumières de l'arc-en-ciel. Le jour, la moitié de la Terre reçoit la lumière du Soleil. En rentrant dans l'atmosphère, elle est diffusée par les molécules qui la constituent. La lumière bleue est davantage diffusée que les autres. Sur la Lune, il n'y a pas d'atmosphère, le ciel n'est pas bleu, il est noir. Sur Terre, l'autre partie qui n'est pas éclairée par la lumière du Soleil est dans le noir : c'est la nuit.



Frédéric Pitout.

### **Si l'Univers est infini avec une infinité d'étoiles, pourquoi la nuit est-elle noire ?**

Frédéric Pitout nous a expliqué que cela s'appelle le paradoxe d'Olbers. La question est posée à partir d'une hypothèse fautive car l'Univers n'est pas infini, il n'y a donc pas une infinité d'étoiles. De plus, la vitesse de la lumière n'est pas infinie. La lumière de certaines étoiles situées très loin de nous n'a donc pas eu le temps de nous parvenir.

La lumière n'est pas que celle que l'on voit. Il existe d'autres lumières invisibles pour nos yeux comme les infra-rouges, les ultra-violets, les ondes radio, les micro-ondes, les rayons X et les rayons gamma. Notre œil n'est sensible qu'à une toute petite partie de la lumière, ce qui explique aussi pourquoi on voit le ciel noir la nuit.

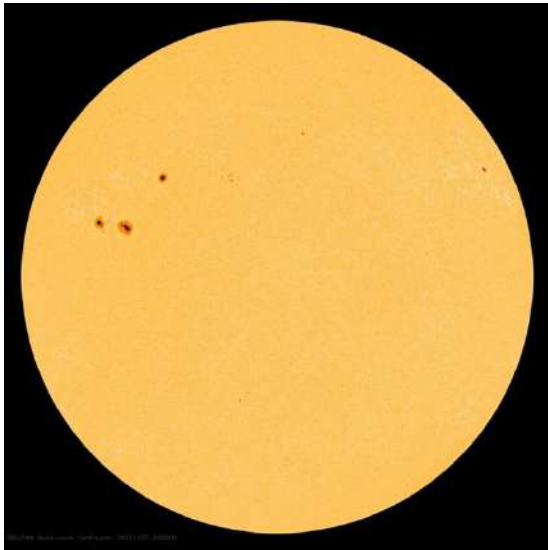
Si nous voyons une zone sombre en observant le ciel, nous pourrions croire que cette zone est vide. L'observation de cette région de l'espace avec des télescopes sensibles aux infra-rouges nous révèle la présence d'étoiles dont la lumière visible était absorbée par des poussières. Nous pouvons donc en conclure que le noir dans l'espace n'est pas forcément dû à l'absence d'objets lumineux.



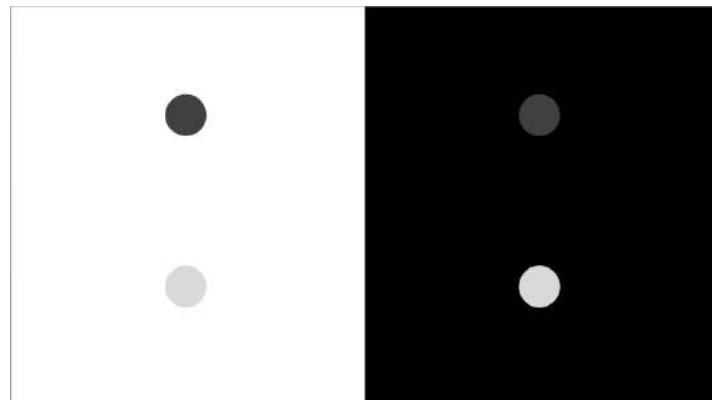
Barnard 68 : nuage de poussières interstellaires en lumière visible (*gauche*) et en infra-rouges (*droite*).

## A quoi correspondent les taches noires sur le Soleil ?

L'observation du Soleil nous montre des taches noires qui apparaissent et disparaissent à sa surface avec un cycle de 11 ans. Plus un corps est chaud, plus il émet de la lumière. Ces taches correspondent à des zones plus froides que les autres. Par effet de contraste ces zones nous paraissent noires. Pour nous le faire comprendre, Frédéric Pitout nous a présenté une illusion d'optique avec des disques d'un même gris placés sur un fond blanc et sur un fond noir. Les disques ne paraissent pas de la même couleur. Cela nous a fait penser au tableau de Soulages où un même noir est peint sur deux fonds de couleur différente.



Taches solaires.



Illusion d'optique.

De ces explications, nous pouvons bien supposer que **le cerveau joue un rôle dans la perception des différentes teintes du noir.**

## Qu'est-ce que l'albédo ?

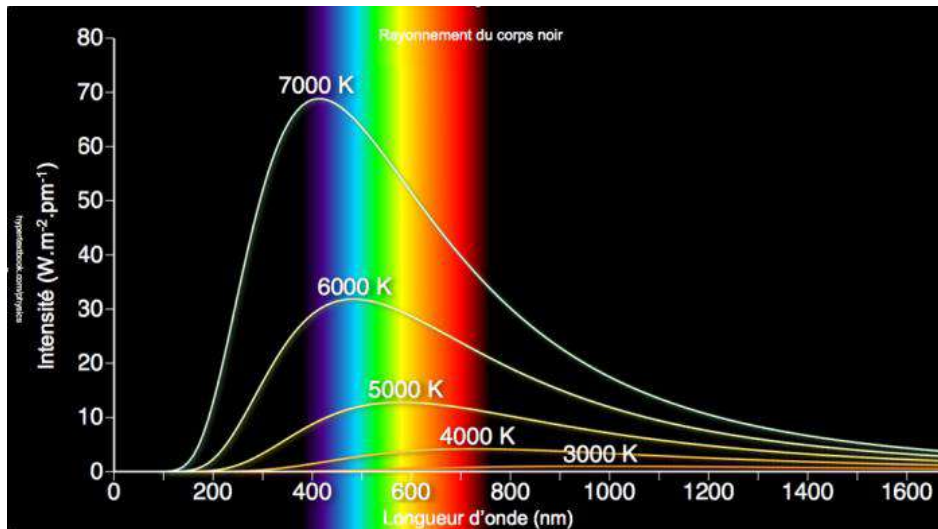
L'albédo est défini comme le rapport entre l'énergie totale reçue par une surface provenant de toutes les directions et l'énergie totale réfléchiée dans toutes les directions.

L'albédo prend des valeurs allant de 0 (*pour un noir idéal qui absorbe tout*) à 1 (*pour un blanc idéal qui réfléchit tout*). Quand on étudie la surface de notre planète, l'albédo d'une zone glacée est différent de celui d'un sable blanc, d'un sable noir ou encore de celui de la végétation. On peut aussi donner un albédo global pour un corps céleste entier.

Dans le Système solaire, les planètes telluriques sans atmosphère ont un albédo faible, vers 0,1-0,2 ; les planètes telluriques avec atmosphère ou planètes gazeuses, vers 0,3-0,7 ; et les corps ou satellites glacés, autour des 0,8-0,9.

### Qu'est-ce que le corps noir ?

En physique, un corps noir est un objet idéal qui absorbe parfaitement toute la lumière qu'il reçoit. L'absorption de cette énergie conduit à son échauffement et à la réémission d'une lumière dont la couleur est uniquement liée à la température de ce corps noir (*cette lumière peut être visible ou non*).



Le rayonnement du corps noir.

Frédéric Pitout nous a également parlé des **trous noirs** et de la **matière noire**.



Frédéric Pitout, le noir et l'astronomie.

## **1-Comment expliquer le noircissement de la bogue de noix ?** *(Comment expliquer le noircissement dans la nature ?)*

Pour nos expériences, nous avons utilisé des noix vertes ramassées fin juin et conservées au congélateur.

Hypothèse 1 : nous pensons que la lumière est responsable du noircissement de la bogue de noix.

Protocole mis en place :

Nous avons laissé une noix verte à la lumière du jour et une autre noix verte dans une boîte en carton fermée. Puisqu'elle sortait du congélateur, nous avons entouré la bogue avec du papier aluminium pour ne pas mouiller le carton.

Observation :

Après trois jours, les deux bogues de noix ont noirci. La bogue entourée de papier aluminium est très humide.

Interprétation :

La lumière semble ne pas avoir d'influence sur le noircissement. Cependant, nous n'en sommes pas sûrs car la présence d'eau peut avoir une influence aussi.

Conclusion :

Pour mettre en place un protocole, il faut étudier l'influence d'un seul paramètre.

Nouveau protocole mis en place :

Nous avons laissé une noix verte à la lumière du jour et une autre noix verte à l'obscurité sous une tasse.

Observation :

Après trois jours, les deux bogues de noix ont noirci. Les deux bogues sont sèches.

Conclusion :

**La lumière ne semble pas responsable du noircissement de la bogue de noix.**



Bogue de noix verte.



Observation après trois jours.

Hypothèse 2 : nous pensons qu'une blessure (*choc, griffure*) peut être responsable du noircissement de la bogue de noix.

Protocole mis en place :

Nous avons laissé une noix verte intacte comme témoin et tailladé la bogue d'une autre noix verte.



Noix tailladée et noix intacte ouvertes.

Observation :

Après trois jours, les deux bognes ont noirci. La bogue tailladée est un tout petit peu plus noire que la bogue intacte. La bogue tailladée est noire à l'intérieur, la bogue intacte est restée verte.

Interprétation :

Une blessure semble avoir une influence sur le noircissement. Encore une fois, nous ne sommes pas sûrs de notre interprétation car les noix vertes utilisées ont, toutes les deux, été peut-être « blessées » par la congélation. Nous avons donc envisagé de réaliser un nouveau protocole avec un fruit non congelé.

Le noircissement à l'intérieur de la bogue tailladée est peut-être dû à de l'eau ou de l'air qui sont rentrés dans la noix aux endroits tailladés.

Nouveau protocole mis en place :

Nous décidons de prendre des bananes pour notre expérience. Une banane a été laissée intacte (*témoin*), une a été tailladée (*pour tester l'hypothèse de l'influence d'une blessure*) et l'autre a été mise dans l'eau (*pour tester l'hypothèse de l'eau*).

Observations :

Après trois jours, la banane témoin n'a pas noirci. Un noircissement peut être observé aux endroits où la banane a été tailladée. La banane placée dans l'eau n'a pas noirci.

Après deux semaines, la banane témoin a noirci. Le noircissement est plus important pour la banane tailladée. Pour la banane placée dans l'eau, la partie au contact de l'air a noirci, la partie au contact de l'eau n'a pas noirci.



Bananes après trois jours.



Banane placée dans l'eau après deux semaines.

### Interprétation :

La blessure semble jouer un rôle dans le noircissement de la banane. L'eau n'est pas responsable du noircissement (*la partie dans l'eau n'est pas noire*). L'air semble jouer un rôle dans le noircissement.

Pour valider cette interprétation, nous avons placé une banane et une noix verte sous vide.

### Observation :

Après deux semaines, la banane n'a pas noirci. La noix verte n'a pas noirci sous vide, alors qu'elle noircit au bout de deux jours à l'air libre.



Noix verte après deux semaines sous vide.

### Conclusion :

**L'air est responsable du noircissement de la banane et de la noix verte. L'eau n'est pas responsable du noircissement.**

Nous savons que l'air est un mélange de plusieurs gaz : du diazote, du dioxygène, du dioxyde de carbone. **Quel est le gaz responsable du noircissement ?**



Alix, Lilou, Alicia. Technique du déplacement d'eau.

### Protocole mis en place :

Nous avons placé une noix verte dans un bocal contenant de l'air (*témoin*), une noix verte dans un bocal contenant du dioxygène pur, une dans un bocal contenant du diazote pur et une dernière dans un bocal contenant du dioxyde de carbone pur. Pour cela nous avons utilisé des bouteilles de gaz et la technique du déplacement d'eau.

### Observation :

Après 4h dans les bocaux, les noix placées dans l'air et dans le dioxygène ont noirci, les noix placées dans le diazote et dans le dioxyde de carbone sont restées vertes.



Noix vertes au contact de l'air, du dioxygène, du diazote ou du dioxyde de carbone.

Conclusion :

**C'est le dioxygène dans l'air qui est responsable du noircissement de la noix verte.**

Pour confirmer cette conclusion, nous avons reproduit la même expérience mais avec des bananes. Après trois semaines, les bananes au contact de l'air et du dioxygène ont noirci. Les bananes au contact du diazote et du dioxyde de carbone sont restées vertes. Ces observations confirment notre conclusion : c'est le dioxygène dans l'air qui est responsable du noircissement.



Bananes au contact de l'air, du diazote, du dioxygène ou du dioxyde de carbone.



Observation après trois semaines.



## 2-Comment expliquer la luminosité des *Outrenoirs* ?

### 2.1-Comment prouver qu'un objet noir peut réfléchir la lumière ?

Notre professeur de physique chimie nous a expliqué qu'un objet qui réfléchit la lumière obéit aux lois de Snell-Descartes. Voici ce que l'on peut trouver sur le manuel de physique chimie Belin de seconde.

Hypothèse : si un objet noir réfléchit la lumière, les angles d'incidence et de réflexion doivent être égaux.

Protocole mis en place :

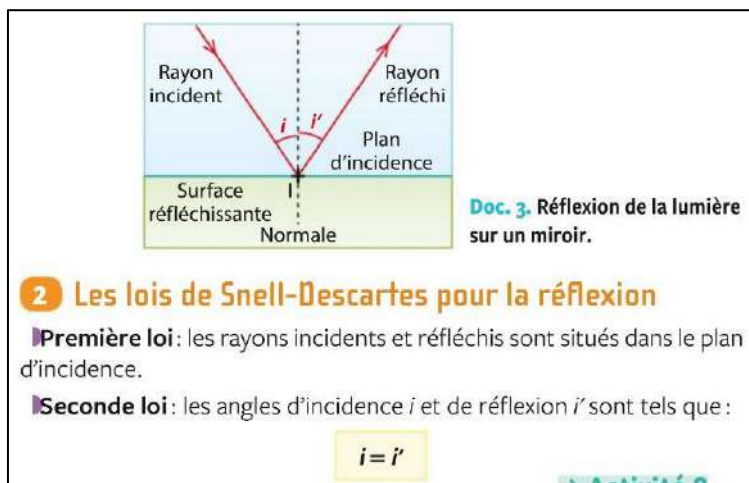
Nous avons reproduit sur une feuille le schéma du manuel pour plusieurs angles d'incidence ( $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  et  $85^\circ$ ). Nous avons utilisé une plaque noire en plastique (*trouvée dans la salle de technologie*). Cette plaque présente un côté brillant et un côté mat. Nous avons éclairé la plaque (*en un point I situé sur la normale à la plaque*) avec une lampe de poche en la déplaçant pour changer l'angle d'incidence.

Sur la photo, L représente la position de la lampe, N un point sur la normale et O la position de notre œil.

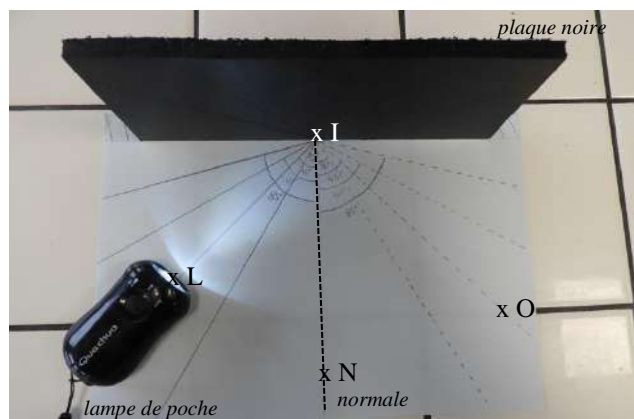
Observations :

Si l'angle d'incidence est de  $45^\circ$  ( $\widehat{LIN} = 45^\circ$ ), l'image de la lampe est vue sur le point I uniquement si nous plaçons notre œil tel que  $\widehat{NIO} = 45^\circ$ .

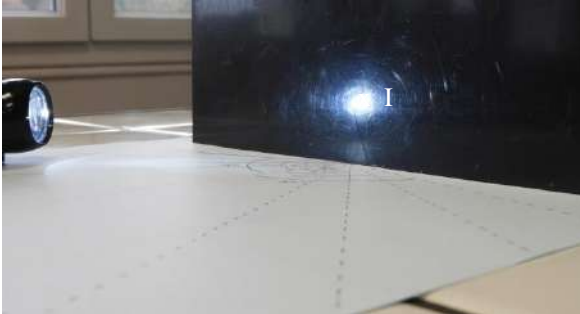
Si  $\widehat{NIO}$  n'est pas égal à  $45^\circ$  l'image est décalée vers la gauche ou vers la droite du point I.



<https://www.belin-education.com/physique-chimie-2de>



Cette observation est valable pour tous les autres angles d'incidence testés, que la plaque soit brillante ou mate. Du côté brillant, l'image de la lampe est assez nette. Du côté mat, l'image de la lampe est floue.



Expérience avec le côté brillant de la plaque noire.



Expérience avec le côté mat de la plaque noire.

Interprétation :

Pour que la lumière de la lampe arrive dans notre œil, il faut que, dans toutes les situations,  $\widehat{LIN} = \widehat{NIO}$ . La seconde loi de Descartes est bien respectée.

Conclusion :

**Un objet noir peut réfléchir la lumière, il n'absorbe pas toute la lumière reçue. Il y a donc bien un phénomène de réflexion de la lumière sur les *Outreoirs* de Soulages.**

**2.2-Comment expliquer la différence entre un noir brillant et un noir mat ?**

Hypothèse : nous pensons qu'un noir brillant absorbe moins la lumière qu'un noir mat. Grâce à l'explication de Frédéric Pitout sur l'albédo, nous pensons que l'albédo d'un objet noir brillant doit être plus élevé que celui d'un objet noir mat.

Protocole mis en place :

Pour mesurer l'albédo d'un objet noir, nous avons utilisé le logiciel Mesurim 2. Nous avons pris deux photos de notre plaque noire posée sur une feuille blanche (*une côté brillant et une côté mat*). Une feuille blanche a un albédo défini à 0,7. Elle sert d'étalon. Lorsqu'on prélève avec la « pipette » une partie de l'image de la plaque noire, le logiciel mesure son albédo.



Mesures de l'albédo avec Mesurim 2.

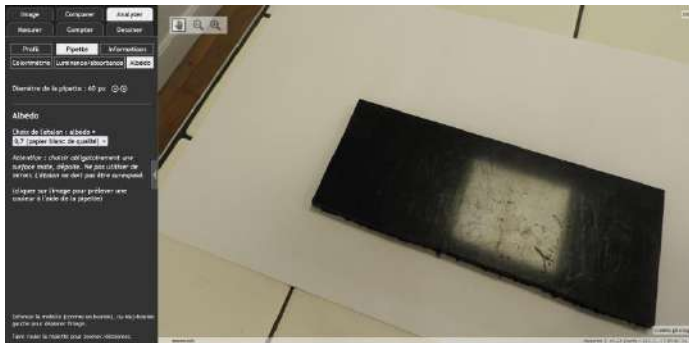
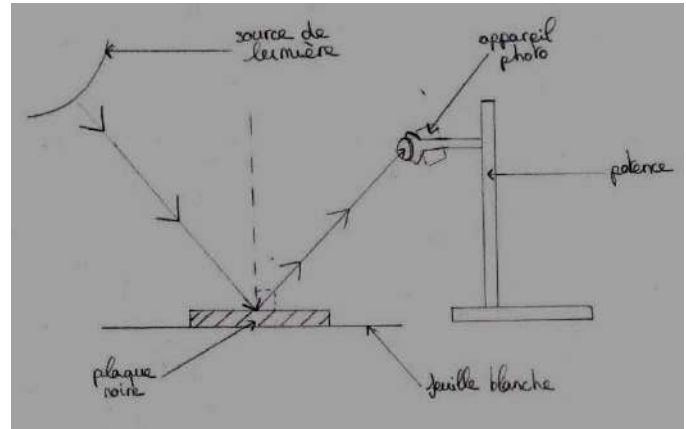
### Observations :

En moyenne, l'albédo de la plaque noire côté brillant est de 0,016 et l'albédo du côté mat est de 0,026 (*moyenne calculée pour 5 prélèvements*).

Nous avons également placé l'appareil photo sur le trajet de la lumière réfléchie.

### Observations :

En moyenne, l'albédo de la plaque noire côté brillant est de 0,470 et l'albédo du côté mat est de 0,059 (*moyenne calculée pour 5 prélèvements*).



Mesures de l'albédo avec Mesurim2.

### Interprétation :

Ces deux expériences donnent des résultats contradictoires. Nous avons demandé de l'aide à Frédéric Pitout pour les interpréter :

Le noir mat réfléchit plus de manière diffuse (*dans toutes les directions*) que le noir brillant. Le noir brillant réfléchit plus de manière spéculaire (*dans une direction au détriment des autres*) que le noir mat. Cela expliquerait le fait que l'on obtienne un albédo supérieur pour le brillant dans la deuxième expérience et un albédo supérieur pour le mat dans la première. En revanche, ces expériences ne permettent pas de donner une conclusion sur l'absorption de la lumière par un objet mat et un objet brillant.

### Conclusion :

**Un objet noir mat réfléchit la lumière dans toutes les directions. Un objet noir brillant réfléchit la lumière dans une certaine direction. Sur les œuvres de Soulages, les effets mats et brillants sont liés à une différence de réflexion de la lumière (diffuse ou spéculaire).**

### 2.3-Que devient la lumière absorbée par les objets noirs ?

Hypothèse : nous pensons que la lumière absorbée par les objets noirs se transforme en chaleur (comme lorsqu'on porte un T-shirt noir en plein soleil).

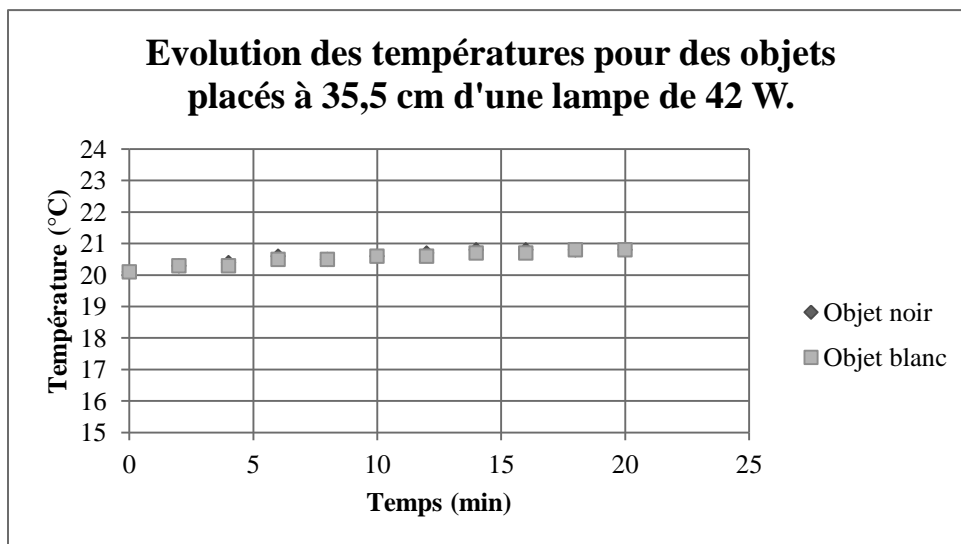
Protocole mis en place :

Nous avons entouré la sonde d'un thermomètre par un ruban adhésif noir et la sonde d'un autre thermomètre par un ruban adhésif blanc (*témoin*). Nous avons exposé ces deux rubans adhésifs à différentes distances d'une lampe halogène de puissance 42 W. Nous avons relevé les températures toutes les 2 min puis construit des graphiques à l'aide d'un tableur.

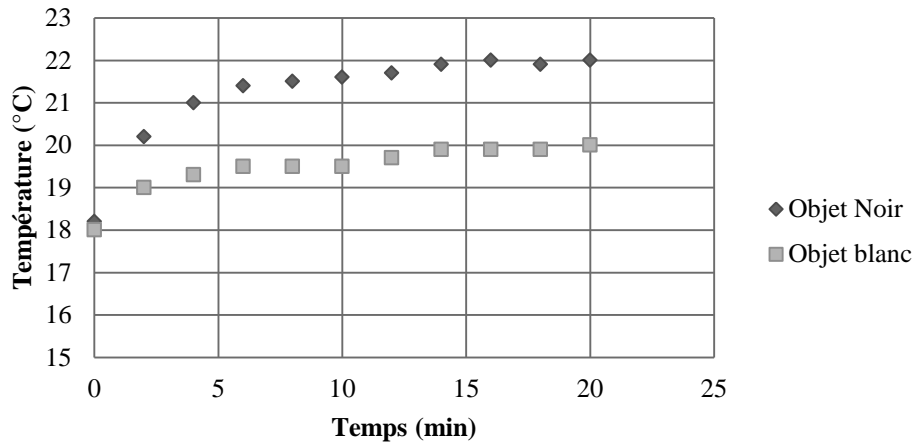


Expérience sur l'absorption de la lumière par des objets noirs et blancs.

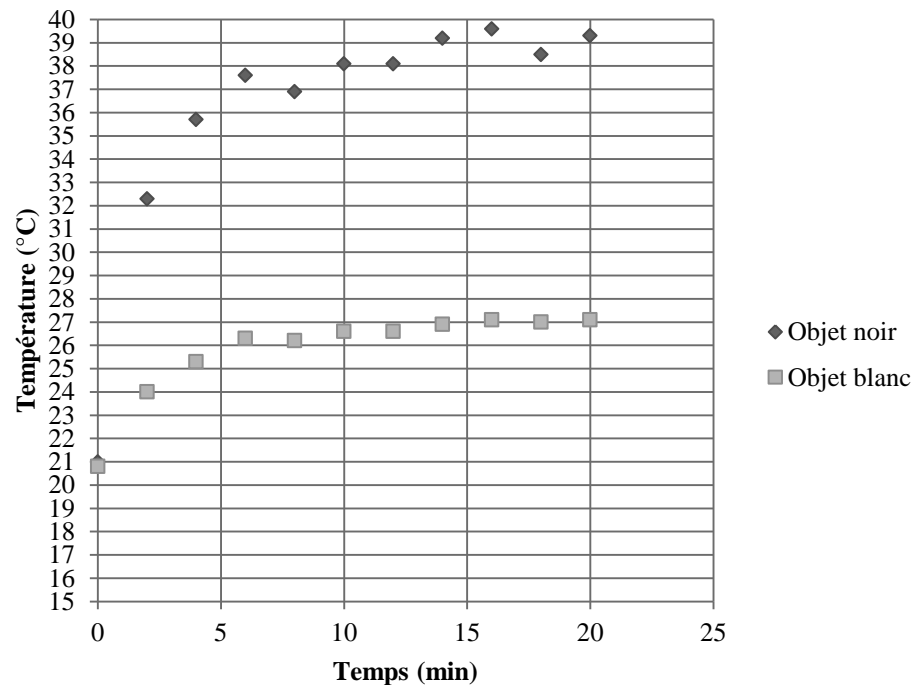
Observation :



### Evolution des températures pour des objets placés à 8,5 cm d'une lampe de 42 W.



### Evolution des températures pour des objets placés à 2 cm d'une lampe de 42 W.



La température d'un objet noir exposé à la lumière augmente beaucoup plus que la température d'un objet blanc jusqu'à atteindre un palier.

Plus l'objet est proche de la source de lumière, plus la température augmente et plus l'écart de température entre l'objet blanc et l'objet noir est grand (à 35,5 cm l'écart est de 0,2°C ; à 8,5 cm l'écart est de 2°C et à 2 cm l'écart est de 12,2°C).

Conclusion :

**La lumière absorbée par un objet noir se transforme en chaleur.**

**Nous pensons que cela pourrait avoir une importance sur la conservation des *Outrenoirs* de Pierre Soulages. Si ces œuvres étaient exposées à une lumière trop intense, cela pourrait avoir un impact sur la peinture noire.**



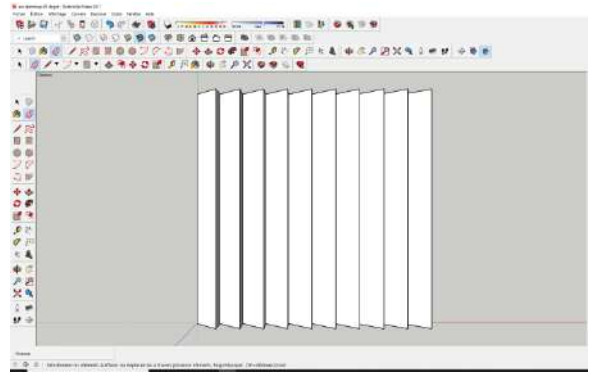
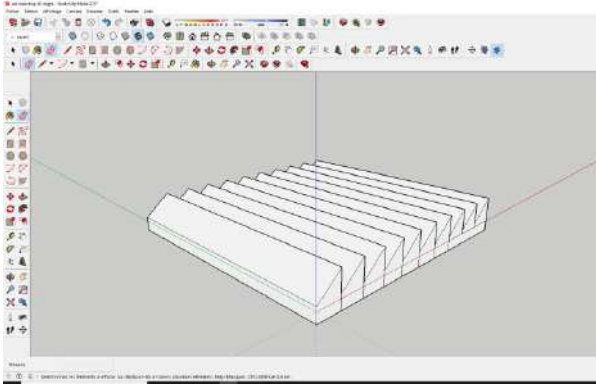
Rhianna. Expérience sur l'absorption de la lumière.

## 2.4-Quel rôle jouent les stries sur le pouvoir réfléchissant de la matière ?

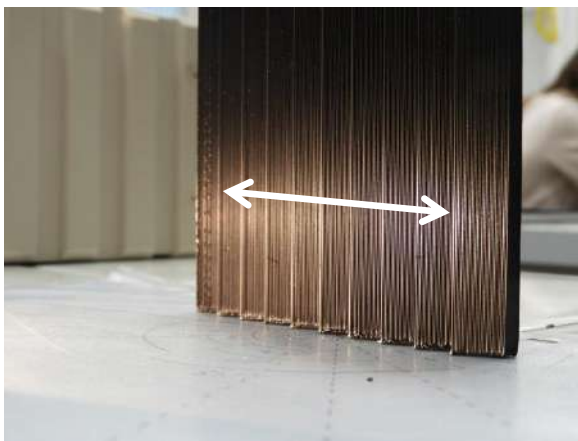
Hypothèse 1 : nous pensons que la présence de stries sur une surface noire change l'angle de réflexion de la lumière.

Protocole mis en place :

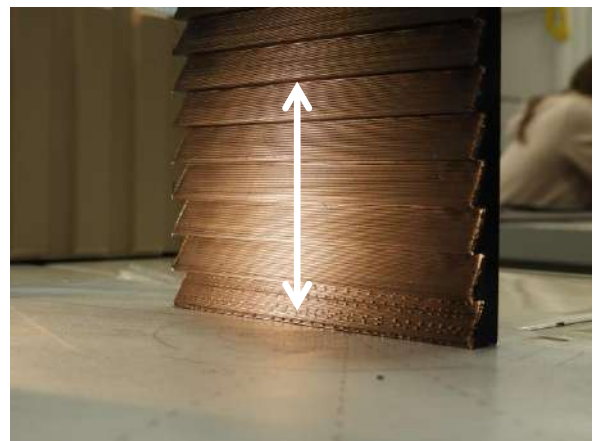
Nous avons choisi de construire un « faux Soulages » à l'aide de l'imprimante 3D de la salle de technologie pour obtenir une plaque noire striée de manière régulière et avec des sommets de même angle. Pour modéliser nos plaques, nous avons utilisé le logiciel SketchUp. Une plaque en ABS noir a été imprimée, avec des sommets de 30°. Nous l'avons éclairée avec un angle d'incidence de 45° et placé un appareil photo sur le trajet de la lumière réfléchie.



Faux Soulages avec SketchUp.



Eclairage sur stries verticales.  
Étalement horizontal.



Eclairage sur stries horizontales.  
Étalement vertical.

Observations :

L'image de la source de lumière n'est pas un point mais s'étale.

Lorsque la plaque noire est éclairée sur des stries verticales, la lumière renvoyée est étalée horizontalement.

Lorsque la plaque noire est éclairée sur des stries horizontales, la lumière renvoyée est étalée verticalement.

Interprétation :

La lumière n'est pas réfléchié dans une seule direction mais diffusée perpendiculairement aux stries présentes sur la surface noire.

Conclusion :

**Lorsque Pierre Soulages strie la peinture, cela lui permet de diffuser la lumière perpendiculairement à la disposition de ses stries.**

Hypothèse 2 : nous pensons que la présence de stries très profondes sur une surface piège la lumière et peut donc rendre cette surface très noire (*c'est le principe du Vantablack dont nous a parlé Joël Chevrier*).

Protocole mis en place :



Les 100 lames de rasoir.

Grâce aux conseils de Joël Chevrier, nous avons placé 100 lames de rasoir côte à côte et nous les avons fixées grâce à un élastique.



Surface noire obtenue vue de côté.



Vue de dessus.

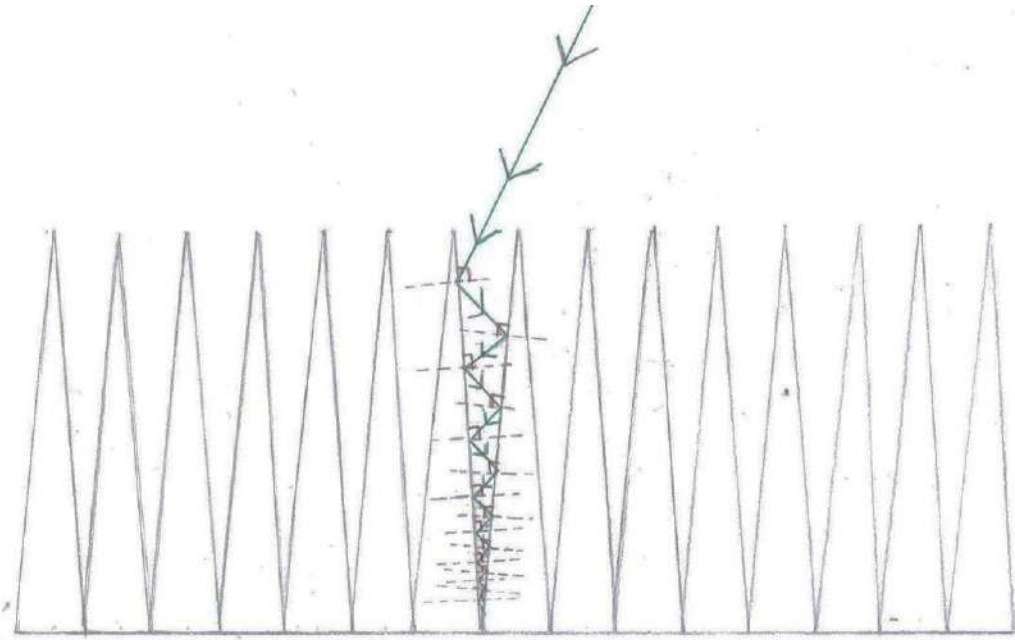


Observation :

Les lames de rasoirs sont grises y compris sur la partie tranchante. En revanche, dès que l'ensemble des lames est empilé, la surface formée est entièrement noire.

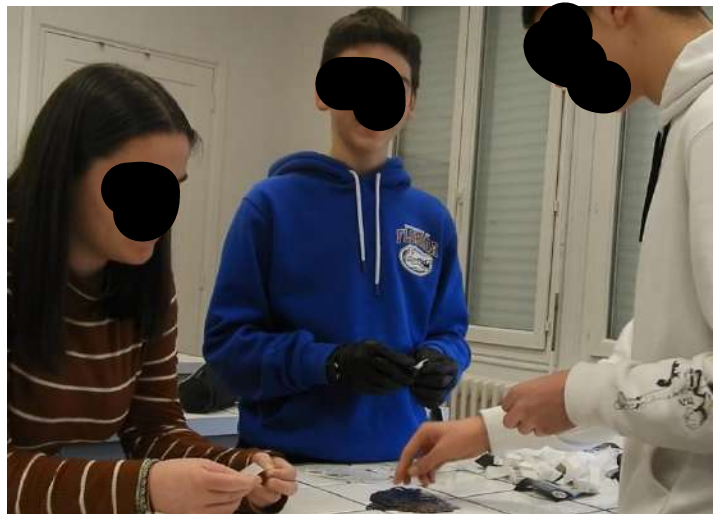
Interprétation :

Lorsque la lumière arrive sur la surface striée profondément, elle est réfléchiée plusieurs fois entre chaque lame qui se fait face, de telle façon qu'elle ne ressort pas de la surface. De cette manière, toute la lumière est capturée, la surface est vue noire.



Conclusion :

**En faisant des stries très profondes sur la surface de ses *Outrenoirs*, Pierre Soulages aurait pu obtenir une surface noire très intense (il faudrait retourner au musée pour le vérifier).**



Fanny, Léandre et Cédric. Superposition des lames de rasoir.

## 2.5-Comment expliquer les aspects colorés des *Outrenoirs* ?

Hypothèse 1 : nous pensons qu'un *Outrenoir* éclairé par une lumière colorée peut être vu coloré car il réfléchit cette lumière colorée.

Protocole mis en place :

Nous avons placé successivement un filtre rouge, un filtre bleu, un filtre vert et un filtre jaune sur une source de lumière éclairant directement sur notre « faux Soulages ».

Observation :



Plaque noire éclairée en lumière rouge, puis bleue, verte et jaune.

Les couleurs vues sur la plaque noire correspondent aux lumières colorées de la source qui éclaire directement la plaque.

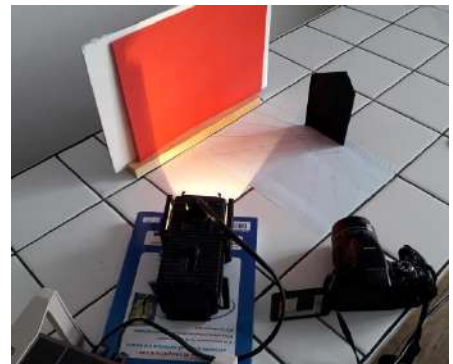
Conclusion :

**Un objet noir éclairé directement par une lumière colorée réfléchit une lumière colorée. Les couleurs observées sur un *Outrenoir* peuvent s'expliquer par un éclairage direct par des lumières colorées.**

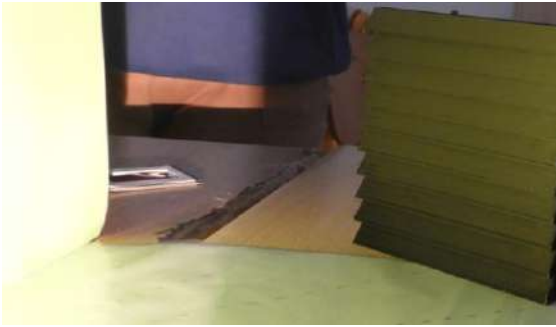
Hypothèse 2 : nous pensons que l'environnement d'un *Outrenoir* (*murs, plafond, sol*) peut expliquer ses aspects colorés.

Protocole mis en place :

Nous avons éclairé en lumière blanche des feuilles colorées placées à proximité de notre « faux Soulages ». Nous avons mis un appareil photo sur le trajet de la lumière réfléchi par la plaque noire.



Observation :



Eclairage indirect d'une plaque noire.

Eclairée de manière indirecte par une surface jaune, la plaque noire a un aspect jaunâtre.

Eclairée de manière indirecte par une surface rouge, la plaque noire a un aspect rougeâtre.

Conclusion :

**Un objet noir éclairé indirectement par une surface colorée réfléchit une lumière colorée. Les couleurs observées sur un *Outrenoir* peuvent s'expliquer par un éclairage indirect sur des surfaces colorées.**

Hypothèse 3 : nous pensons que les couleurs observées sur un *Outrenoir* peuvent être liées à un phénomène de diffraction de la lumière, comme sur les plumes d'une pie.

Protocole mis en place :

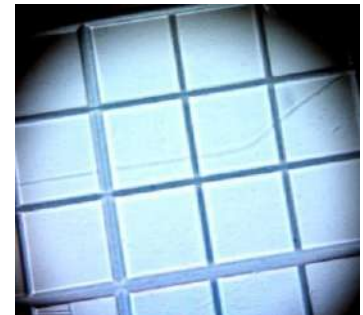


Plume de pie.

Nous avons pris en photo la partie irisée de la plume d'une pie grossie 100x au microscope. Avec ce même grossissement, nous avons pris en photo une lame de Kova (*constituée de carrés tous identiques de 330  $\mu\text{m}$  de côté*). Cette photo nous a servi à fixer une échelle de longueur dans le logiciel Mesurim 2 et, grâce à cette échelle, nous avons pu mesurer des longueurs sur la photo de la plume.



Lame de Kova.



Lame de Kova (*grossissement 100x*)



Plume de pie (*grossissement 100x*) dans Mesurim 2.

### Observation :

La partie irisée de la plume d'une pie est constituée d'environ 35 stries par mm.

Notre objectif est d'essayer de graver une plaque noire de manière à obtenir 35 stries par mm puis d'observer si nous obtenons le même effet irisé que pour une plume de pie.

Nous ne savons pas encore si nous pourrions réaliser cela avec la machine à commande numérique de la salle de technologie.

Après avoir regardé l'émission *E=M6 Spéciale Noël : la science des papiers*, nous avons eu une autre idée. Dans cette émission, le physicien Emmanuel Fort expliquait comment obtenir du chocolat irisé grâce à un film holographique. Un film holographique possède une surface en forme de tôle ondulée microscopique (*entre 500 et 1000 stries par mm*).

Il faut faire fondre du chocolat puis le déposer sur la partie striée. En se solidifiant, le chocolat possède alors un très grand nombre de stries microscopiques à sa surface. Cela permet la diffraction de la lumière et lui donne un aspect irisé.

Nous avons cherché à obtenir une surface noire irisée avec la même méthode en ajoutant un pigment noir au chocolat fondu.



Atelier chocolaterie à la cuisine de la cantine.

Observation :



Chocolat après retrait du film holographique.



Chocolat et pigment noir après retrait du film holographique.

Après solidification du chocolat, le chocolat et le chocolat avec du pigment noir présentent tous les deux une surface irisée.

Nous avons essayé d'obtenir le même effet avec de la peinture noire. Nous avons fabriqué cette peinture à l'aide d'un pigment noir (*noir d'ivoire*) et d'un liant acrylique. Nous l'avons déposée sur une feuille de papier puis appliqué un film holographique au-dessus. Nous avons ensuite pressé sur le film avec un livre. Après séchage, nous avons enlevé le film. **La peinture noire est irisée** en surface. Nous aurions beaucoup aimé discuter de cette technique avec Pierre Soulages. Obtenir des couleurs sur une peinture composée d'un seul pigment noir nous paraît incroyable !



Peinture noire irisée.

## 2.6-Quelle est l'influence de la composition d'une peinture sur son pouvoir réfléchissant ?

Hypothèse 1 : nous pensons que le pigment utilisé pour la fabrication de la peinture peut avoir une influence sur son pouvoir réfléchissant.

Hypothèse 2 : nous pensons que le liant utilisé pour la fabrication de la peinture peut avoir une influence sur son pouvoir réfléchissant.

### Protocole mis en place :

Nous avons décidé de travailler avec des masses fixes de pigments et de liants (1,5 g de pigment pour 5 g de liant).

Les pigments que nous avons utilisés sont : le noir d'ivoire (*aussi utilisé par Soulages*), le charbon animal (*trouvé au laboratoire de chimie*) et le charbon de bois (*que nous avons broyé à l'aide d'un pilon et d'un mortier*).

Les liants utilisés sont : l'huile de lin (*utilisée pour faire de la peinture à l'huile*), la gomme arabique et l'eau (*utilisées pour faire de l'aquarelle*), l'œuf (*utilisé pour faire de la tempera*), le liant acrylique (*utilisé pour faire de la peinture acrylique*).

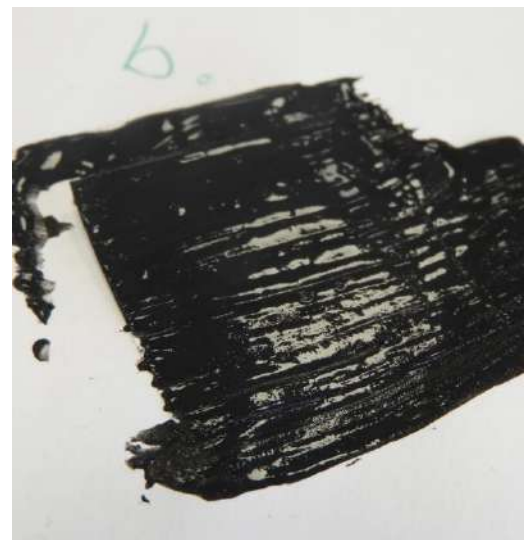
Pour nous repérer dans tous nos essais, nous avons donné un numéro à chaque peinture fabriquée et il a fallu être très organisées.



Elia et Rachel, atelier peinture.



Exemples d'essais de peintures à l'huile.



Exemple d'essai de peinture acrylique.

### Observations :

Dans le tableau suivant, nous avons marqué l'effet brillant (+) ou mat (-) obtenu après séchage de chaque peinture fabriquée.

		Pigments		
		Noir d'ivoire	Charbon animal	Charbon de bois
Liants	Huile de lin	-	-	-
	Gomme arabique + eau	-	-	-
	Liant acrylique	++	+	+
	Œuf entier	++	+	-
	Jaune d'œuf	+++	++	+
	Blanc d'œuf	-	-	-

Des noirs brillants ont été obtenus avec le liant acrylique, l'œuf entier et le jaune d'œuf.

Des noirs mats ont été obtenus avec l'huile de lin, la gomme arabique et l'eau ainsi qu'avec le blanc d'œuf.

Pour un même liant, le noir d'ivoire donne une peinture plus brillante que le charbon animal ou le charbon de bois.

Le charbon de bois donne une peinture granuleuse qui s'étale mal.

Les peintures à l'œuf gondolent les feuilles de papier.



Rachel, Justine et tous nos essais.

Conclusion :

**Le liant utilisé pour la fabrication de la peinture a bien une influence sur son pouvoir réfléchissant. Pierre Soulages a pu utiliser des liants différents avec un même pigment pour obtenir des noirs mats ou brillants.**

**Le pigment qui donne les effets les plus brillants est le noir d'ivoire. C'est peut-être pour cela que Pierre Soulages a utilisé le noir d'ivoire pour ses *Outrenoirs*.**

**Si le pigment n'est pas finement broyé, la peinture s'étale mal.**

**Dans la tempera, c'est le jaune de l'œuf utilisé comme liant qui est responsable de l'aspect brillant obtenu.**

**Le support de la peinture doit être adapté à celle-ci, sinon il peut se déformer.**

Hypothèse 3 : nous pensons que l'ajout d'un additif lors de la fabrication de la peinture peut avoir une influence sur son pouvoir réfléchissant.

Hypothèse 4 : nous pensons que l'ajout d'une poudre métallique lors de la fabrication de la peinture peut avoir une influence sur son pouvoir réfléchissant.

Notre professeur d'arts plastiques, nous a expliqué, qu'en peinture, un additif qui sert à ajuster les propriétés de la peinture s'appelle un médium.

Protocole mis en place :

Nous avons travaillé avec du noir d'ivoire et du liant acrylique (1,5 g pour 5 g à chaque essai). Nous avons ajouté à ce mélange différents médiums (*Bindex brillant, Bindex mat, poudre de cuivre, poudre de zinc, poudre d'aluminium*). Nous avons, à chaque fois, mis 1,5 g de médium. Nous avons numéroté chaque peinture fabriquée.

Observation :

Dans le tableau suivant, nous avons marqué l'effet brillant (+) ou mat (-) obtenu après séchage de chaque peinture fabriquée.

	Médium				
	Bindex brillant	Bindex mat	Poudre de cuivre	Poudre de zinc	Poudre d'aluminium
Peinture noir d'ivoire + liant acrylique	+++	+	-	-	-



Les poudres métalliques ont rendu mates les peintures brillantes obtenues avec le liant acrylique. Ces poudres changent la couleur de la peinture : avec la poudre du cuivre, nous observons un aspect marron, avec les poudres de zinc et d'aluminium, nous obtenons un aspect gris foncé. Le Bindex brillant rend plus brillante la peinture acrylique, le Bindex mat atténue la brillance mais elle reste brillante (*peut-être faut-il en mettre plus ?*).

Conclusion :

**Pierre Soulages a pu utiliser différents médiums pour obtenir les effets qu'il souhaitait (*effets de brillance plus ou moins importants, effets colorés*).**



Le matériel utilisé pour nos recherches.

Le 30 janvier 2023, nous avons été invités par le Centre Culturel de Rieuepeyroux pour visiter l'exposition de l'artiste plasticien **Dominique Piveteaud** et le rencontrer. Cet artiste travaille avec plusieurs matériaux (*bois, zinc, cuir*) qu'il assemble et parfois peint en noir. Nous avons trouvé beaucoup de ressemblances avec le travail de Soulages. En regardant les œuvres de Dominique Piveteaud, nous sommes rendus compte qu'une même peinture noire n'a pas le même aspect si elle est peinte sur du bois (*aspect mat*) ou sur du zinc (*aspect brillant*).



Dominique Piveteaud nous explique son travail.

**Le support utilisé pour la peinture noire a une influence sur son aspect visuel.**

## CONCLUSION, PERSPECTIVES

### Comment expliquer l'œuvre de Pierre Soulages ?

Nos différentes expériences nous ont permis de comprendre que :

- Le cerveau joue un rôle dans la perception du noir.
- Le brou de noix utilisé pour certaines peintures est fabriqué à partir de la bogue de noix verte noircie. Ce noircissement s'expliquerait par l'action du dioxygène de l'air. L'eau et la lumière ne semblent pas avoir d'influence sur le noircissement. Une blessure semble avoir une influence. Nous voulons maintenant savoir si la température peut jouer un rôle.
- La luminosité des *Outrenoirs* s'explique par le fait que même une surface noire peut réfléchir la lumière. Les effets mats et brillants sont liés à une différence de réflexion de la lumière (*diffuse ou spéculaire*). La lumière absorbée se transforme en chaleur et nous nous demandons si cela peut avoir une influence sur la conservation de la peinture. L'orientation des stries permet de jouer sur la diffusion de la lumière. La profondeur des stries permet d'obtenir des noirs plus ou moins intenses. La couleur des *Outrenoirs* peut s'expliquer par un éclairage direct par une lumière colorée ou par un éclairage indirect par une surface colorée (*mur, sol, plafond*). Nous cherchons à savoir si les couleurs peuvent s'expliquer par un phénomène de diffraction (*comme sur une plume noire de pie*). Les liants, les médiums et les pigments utilisés ont une influence sur la brillance des peintures noires fabriquées. Le choix de Pierre Soulages d'utiliser de la peinture acrylique avec du noir d'ivoire lui a permis d'obtenir des noirs très brillants.

Pierre Soulages a fait de nombreuses recherches toute sa vie pour obtenir les effets qu'il voulait sur ses toiles. En jouant sur la composition de la peinture, sur les stries, sur l'éclairage de ses toiles, il surprend le spectateur. Notre travail nous a permis de comprendre que Soulages utilisait du noir mais c'est finalement la lumière qu'il manipulait.



Dessin de Philippe Geluck pour l'exposition « Le chat visite le musée Soulages » en 2021.

Première page de l'article de Joël Chevrier dans la revue *La Recherche* n°568.

DOSSIER LUMIÈRE ET MATIÈRE

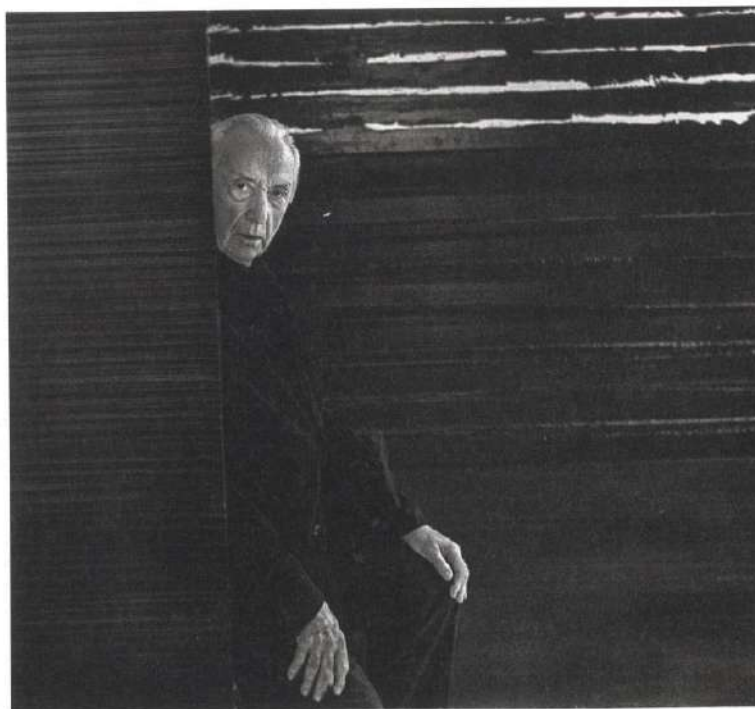
## « Soulages compose avec la réflexion et l'absorption »

Qu'il s'agisse de ses grandes toiles noires dont les surfaces sont savamment travaillées – les fameux Outrenoirs – ou des vitraux de l'abbatiale de Conques, dans le sud de la France, les œuvres de Pierre Soulages modèlent de façon complexe la lumière dans l'espace et nous la rendent plus présente.



**Joël Chevrier**  
PHYSICIEN,  
UNIVERSITÉ  
GRENOBLE ALPES  
*Il enseigne également,  
en tant que professeur  
associé, au Centre  
de recherches  
interdisciplinaires  
de l'université de Paris.  
Il travaille sur les  
innovations pédagogiques  
à partir des technologies  
numériques.*

► Né en 1919, Pierre Soulages réalise depuis la fin des années 1970 ses Outrenoirs, immenses toiles couvertes de matières noires qu'il structure au millimètre à plusieurs centimètres dans l'épaisseur.



## Résultats de nos essais de différentes peintures noires.

	brillant/mat	couvrant ?	papier ?	remarque
1	mat	oui	NON -	granuleux -
2	mat	oui	oui -	tache brillante
3	brillant +	oui	NON	<del>7.c / 7.c / 7.c /</del>
4	mat	oui	oui -	peinture égrité
5	brillant+++	oui	oui ~	surface lisse +
6	mat	oui -	oui ++	buffe
7	mat	oui	NON	7.c très brillant
8	brillant	oui	oui +	peinture égrité
9	mat	oui	non	<del>7.c / 7.c / 7.c /</del>
10	mat	oui	oui ~	peinture égrité
11	brillant +	oui	oui ~	petit morceau -
12	mat	oui	non	12.a non couvrant 12.c papier gracie
13	mat	oui	non	* noir semble jaune
14	mat	oui ~	oui ~	granuleux +++
15	brillant +	non	non	résultat gris + reste de morceau
16	mat	oui	oui -	reste de morceau + 16.a non couvrant
17				
18	mat	non	oui ~	reste de morceau
19	brillant+++	oui	oui --	
20	brillant	oui	non	
21	mat	oui	oui -	couleur marron
22	mat	oui	NON	22.a couvrant -
23	mat -	oui	non	petit point blanc

- un peu  
~ moyen  
+ beaucoup