

# ***Bleu de Prusse et Césium : de la contamination au traitement***

Tarsonis, 6 Mai 2019  
Finalisé le 14 Octobre 2019

**Licence CC-BY-NC-SA**  
Attribution, Pas d'utilisation commerciale, Partage dans les mêmes conditions.

Ceci est une version PDF chapitrée du sujet de discussion sur Olduvaï à propos du Bleu de Prusse :

[Stock + Fabrication] Bleu de Prusse (risque nucléaire) Césium et comprimés  
<http://www.le-projet-olduvai.com/t10662-stock-fabrication-bleu-de-prusse-risque-nucleaire-cesium-et-comprimes>

Fichier hébergé sur le serveur Oldu.fr :  
[http://oldu.fr/docs/index.php?dir=1\\_Risque\\_Nucleaire/](http://oldu.fr/docs/index.php?dir=1_Risque_Nucleaire/)

A l'adresse :  
[http://oldu.fr/docs/index.php?dir=1\\_Risque\\_Nucleaire/&file=Bleu\\_de\\_Prusse\\_et\\_Ce%CC%81sium\\_de\\_la\\_contamination\\_au\\_traitement.pdf](http://oldu.fr/docs/index.php?dir=1_Risque_Nucleaire/&file=Bleu_de_Prusse_et_Ce%CC%81sium_de_la_contamination_au_traitement.pdf)

N'hésitez pas à venir sur le forum poser vos questions, ou signaler une coquille. ;)

## Table des matières

<b>1) Le Césium 137 et l'Humain : Métabolisme, Période Biologique.....</b>	<b>4</b>
<b>A) Introduction &amp; quelques sources .....</b>	<b>4</b>
<b>B) Le pourquoi du comment : Les Fragments de Fission .....</b>	<b>4</b>
1) Dissymétrie de fission et probabilités .....	5
2) Les fragments de fission .....	6
3) Césium 137 et 134 .....	6
<b>C) Répartition des radioéléments d'un accident nucléaire :.....</b>	<b>7</b>
1) Une contamination « persistante » .....	7
2) Distribution lors de l'accident de Fukushima .....	7
3) Piste de décontamination des sols : les engrais au potassium .....	8
<b>D) Métabolisme du Césium .....</b>	<b>9</b>
1) Bioassimilation .....	9
2) Période Radioactive et période Biologique .....	9
3) Période Effective.....	10
<b>E) Bleu de Prusse : de la chélation au traitement.....</b>	<b>11</b>
<b>F) Posologie .....</b>	<b>12</b>
<b>G) Digression 1 : le Bleu de Prusse pigmentaire et autres molécules : .....</b>	<b>13</b>
<b>2) Distribution à la population et dynamique de catastrophe .....</b>	<b>14</b>
<b>A) Radiogardase®-Cs-500 mg.....</b>	<b>14</b>
<b>B) Logistique .....</b>	<b>15</b>
<b>C) Contact de l'EPRUS .....</b>	<b>16</b>
<b>D) Les Documents officiels .....</b>	<b>17</b>
1) La Malle Antitode des Postes Sanitaires Mobiles.....	18
2) Quelques incohérences et gestion limitée .....	19
3) Comment pourrait se mettre en place le Plan Particulier d'Intervention ? .....	19
<b>3) Les Cyanotypes pour comprendre la synthèse du Bleu de Prusse .....</b>	<b>22</b>
<b>A) Structure des différentes parties.....</b>	<b>22</b>
<b>4) [Chapitre 1] Principes et Fabrication de Cyanotypes.....</b>	<b>25</b>
<b>A) Introduction.....</b>	<b>25</b>
<b>B) Un peu de chimie : l'état d'oxydation.....</b>	<b>26</b>
1) Le Ferrocyanure.....	27
2) Le Ferricyanure.....	29
<b>C) Les Cyanotypes.....</b>	<b>31</b>
1) La Chimie pour les nuls : la réaction en version courte.....	31
2) La recette et le matériel .....	32
3) Retour à l'équation : l'incohérence n'est qu'apparente.....	35
4) [Aparté Nuke] .....	35
<b>D) Explications du principe en photos.....</b>	<b>36</b>
1) Création du négatif.....	36
2) Mise en place de films et insolation .....	39
3) Lavage du tirage.....	41
<b>E) Fabrication des feuilles photosensibles .....</b>	<b>43</b>
1) Le choix du papier :.....	44
2) Préparation des plaques : .....	49
3) L'exposition.....	50
4) Le lavage .....	51
<b>F) Les cyanotypes et le Bleu de Prusse solide.....</b>	<b>54</b>

<b>5) Fabrication d'un composé ferrique .....</b>	<b>55</b>
<b>A) Mise en garde de circonstance : .....</b>	<b>55</b>
<b>B) Le Sulfate de Fer II .....</b>	<b>56</b>
1) Ingrédients.....	56
2) Ustensiles :.....	56
3) En protection : .....	57
<b>C) La réaction .....</b>	<b>57</b>
1) La pureté du Fer .....	57
1) La préparation des plaques de fer.....	58
2) Attaque du Fer par l'acide .....	61
3) Premiers cristaux et dissolution .....	62
4) Filtration au filtre à café : .....	64
<b>A) De la solution au cristal .....</b>	<b>66</b>
1) La recristallisation.....	66
1) Au bout d'un jour : .....	67
<b>B) La conservation des cristaux .....</b>	<b>69</b>
<b>C) Ce qu'il ne faut pas faire ! .....</b>	<b>70</b>
1) Ne pas chauffer lors de l'attaque. ....	70
2) Ne pas chauffer lors de la dissolution .....	71
3) Ne pas chauffer pour la recristallisation .....	72
<b>6) Fabrication du Bleu de Prusse .....</b>	<b>73</b>
<b>A) Introduction .....</b>	<b>73</b>
1) Ingrédients.....	73
2) Matériel : .....	74
<b>B) La dissolution des réactifs.....</b>	<b>75</b>
1) Solution de Ferricyanure de potassium .....	75
2) Solution de Sulfate de fer .....	75
3) Nota Bene .....	76
<b>C) La réaction par excès d'ions Fer .....</b>	<b>76</b>
<b>D) La Filtration .....</b>	<b>77</b>
1) Un peu de vocabulaire.....	77
2) Un Cycle de synthèse suivie de filtration .....	77
3) Arrêt de l'expérience .....	78
4) Petite astuce : la décantation .....	79
<b>E) La purification post-synthèse .....</b>	<b>79</b>
1) Les dernières impuretés.....	79
2) Purification par lavage.....	79
3) Test de pureté par chromatographie .....	80

# 1) Le Césium 137 et l'Humain : Métabolisme, Période Biologique

Eco.foxtrot :

Salut Tarsonis

Pourrais-tu si le temps ne te manques pas, et si tu y connais quelque chose

*Le bleu de Prusse ... comme élément curatif en cas contamination, je n'ai comme info que la Fiche piratox 2*

Peux-tu nous en dire d'avantage ?

## A) Introduction & quelques sources

A vrai dire, au niveau des recommandations, je n'aurais pas des masses de trucs à dire de plus, car mes références en la matière sont mon bouquin "*La menace terroriste NRBC, approche médicale*", et "*Radioprotection en milieu médical*", qui exposent des données similaires.

En revanche, je peux essayer de détailler et expliquer les tenants et aboutissants du traitement car la pharmacocinétique et les implications sont très différentes de l'iode 131...pourquoi pas scinder les sujets.

Le Bleu de Prusse est utilisé en traitement contre la contamination aux isotopes du Césium (principalement 137 et 134) et du Thallium, qui peut se produire en cas d'accident nucléaire mais aussi radiologique.

Par exemple, les rejets de césium 137 ont été de 21 PBq à Fukushima, et de 80 PBq à Tchernobyl. Concernant l'accident nucléaire de Goiânia, la source avait une activité de 51 TBq au moment du vol.

Concernant les unités : 1 TBq = mille milliard de Becquerels (Téra), 1PBq = 1 million de milliards de becquerels (Péta).

## B) Le pourquoi du comment : Les Fragments de Fission

On peut se retrouver face à de nombreux radionucléides, dont les plus communs (et "gérables" par les civils) sont de la famille de l'Iode (I-131 par ex) mais aussi du Césium (Cs-137 par ex).

Le doc de l'IRSN à propos de Fukushima (accident sur réacteur à eau bouillante) contient pas mal d'informations quant à leur cinétique.

[https://www.irsn.fr/EN/publications/thematic/fukushima/Documents/IRSN\\_Fukushima-Environnement-consequences\\_28022012.pdf](https://www.irsn.fr/EN/publications/thematic/fukushima/Documents/IRSN_Fukushima-Environnement-consequences_28022012.pdf)

## 1) Dissymétrie de fission et probabilités

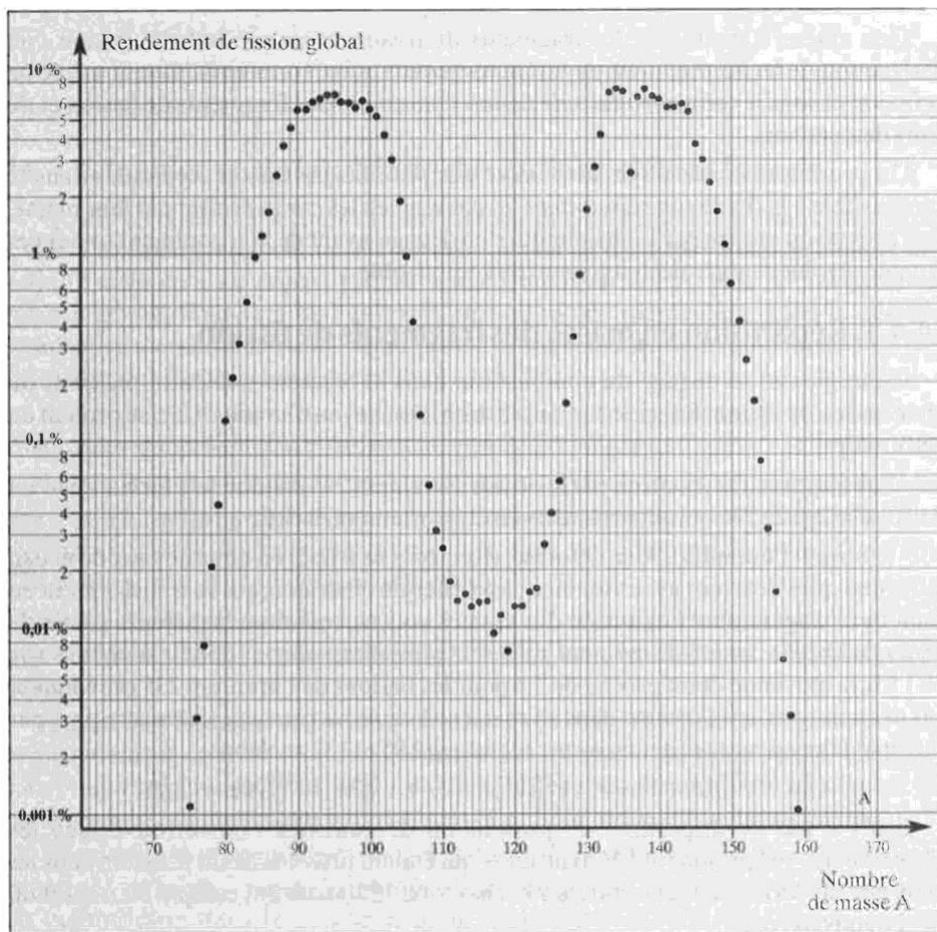
Quand on analyse les phénomènes de fission, on comprend le lien qui unit l'Uranium 235 aux fragments de fission, et pourquoi le Césium 137 est assez "commun".

En effet, U235 contient 235 masses (protons et neutrons). En fissionnant, cela donnerait (en général) deux noyaux fils de masses "proches" de la moitié de 235, soit aux alentours de 117,5.

En réalité, il y a une petite dissymétrie (qui s'explique) via laquelle on aura quasiment toujours un noyau un peu plus lourd que l'autre.

Pour reprendre un graphique du bouquin *La Radioactivité*, de Ives Chelet (détaillé ici : [Quelques livres sur la radioprotection](#))

Il y a des pics de probabilité entre 90/100 et 130/145 masses (attention, graphique en semi-log) alors que la symétrie donnant deux noyaux de masses proches est très rare.



Vous comprenez maintenant pourquoi, lorsqu'un réacteur nucléaire perd son intégrité, les fuites radioactives peuvent contenir de l'iode 131, du tellure 132, du césium 134, 137, du xénon 133, mais aussi du strontium 90.

## 2) Les fragments de fission

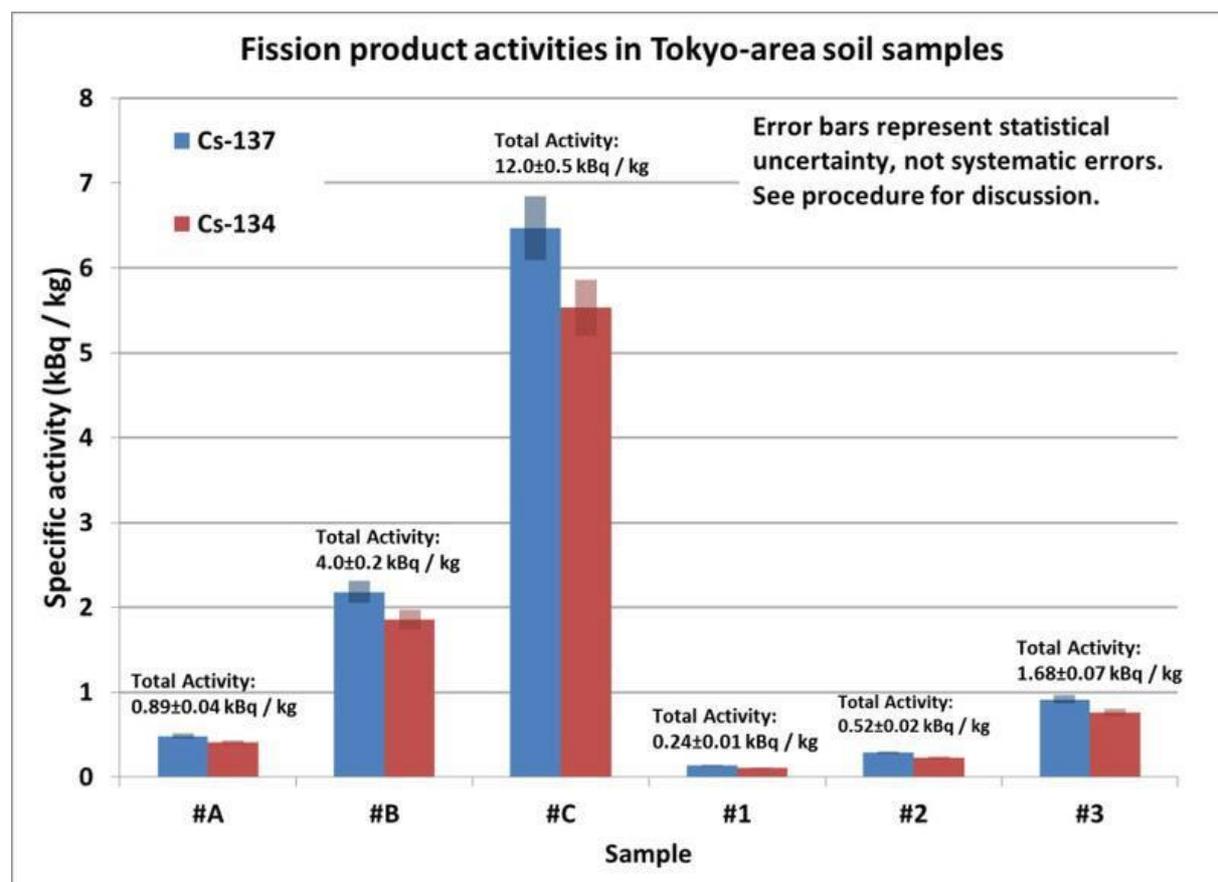
Cela me permet de relever une erreur de Wikipédia et assez répandue sur le net : on parle ici de **fragments de fission**, cad des noyaux issus directement de la scission d'un élément fissile. Étant très instables, ils sont radioactifs et vont se transformer en d'autres éléments, parfois eux aussi radioactifs.

L'ensembles de tous ces noyaux et leurs descendants va former les **produits de fission**, et représenter la plus grosse part de la radioactivité du combustible utilisé des centrales (et presque 6% de la chaleur du coeur), ce qui va nécessiter un gros refroidissement.

## 3) Césium 137 et 134

Le Cs 137 a une période radioactive de 30 ans, et vient avec le Cs 134, dont la période n'est que de deux ans. Ce dernier disparaît donc beaucoup plus vite.

C'est de qui permet de différencier une contamination récente (Fukushima par ex) d'une plus ancienne (Tchernobyl ou des anciens essais nuke), car le Cs134 disparaît beaucoup plus vite.

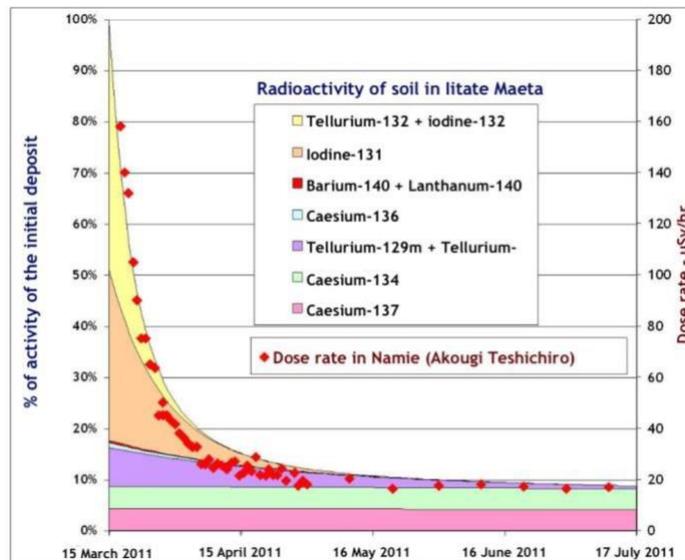


<https://carlwillis.wordpress.com/tag/radioactivity/>

## C) Répartition des radioéléments d'un accident nucléaire :

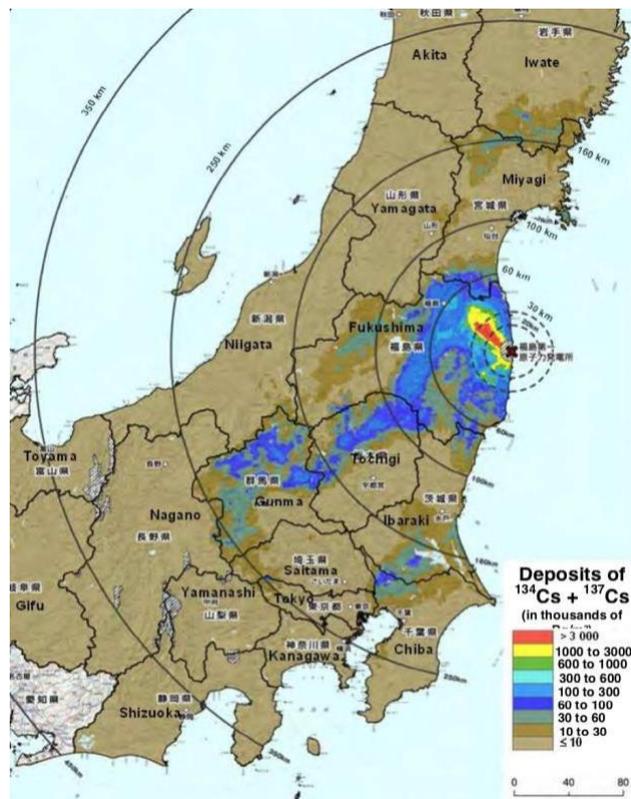
### 1) Une contamination « persistante »

L'activité de l'iode figure parmi les principales mesurées lors d'un rejet et décroît assez vite, tandis que le césium y figure entre 15% et 20%, mais persiste plus longtemps (car de période plus longue), pour représenter la quasi-totalité de l'activité au bout de quelques semaines :



### 2) Distribution lors de l'accident de Fukushima

Concernant la distribution du Césium (134 et 137) :



Où l'on rencontre des points à 30MBq/m<sup>2</sup> dans certains endroits (cf doc) mais aussi des spots à 100kBq à plus de 200km de Fukushima.

Il faut bien entendu pondérer ces points avec la météo nipponne, où le vent d'Ouest a beaucoup dispersé les radionucléides au large plutôt que dans les terres, ce qui serait assez différent en France, mais aussi parce qu'il s'agit de technologie REB.

Nous avons des REP, qui utilisent à peu près le même niveau d'enrichissement, mais de conception un peu différente, donc pouvant largement influencer sur la dynamique d'une catastrophe.

Enfin, ceux de Tchernobyl sont RBMK, amha trop différents des REPs pour extrapoler suffisamment d'information utile.

### **3) Piste de décontamination des sols : les engrais au potassium**

Sujet évoqué dans le topic « Niveau de radioactivité sur zones de tests nucléaires »

<http://www.le-projet-olduvai.com/t11055-niveau-de-radioactivite-sur-zones-de-tests-nucleaires#183901>

Dans le cadre où d'un environnement contaminé au Césium 137, les auteurs d'une Etude de l' Académie nationale des sciences des États-Unis d'Amérique (PNAS) évoquent l'idée d'amender les sols avec des engrais contenant du potassiu (K+), ce qui permettrait la réduction drastique du niveau de contamination dans les cultures :

*When attempting to reduce levels of  $^{137}\text{Cs}$  contamination on Bikini Atoll, the LLNL group introduced potassium fertilizer rather than scraping the surface soil, as had been done on Enewetak Atoll. A study conducted from 1988 through 2001 suggested a decrease in  $^{137}\text{Cs}$  for potassium-treated coconuts.*

*The control trees, which received no treatment, fell from an average level of 5,700 Bq/kg in 1988 to an average level of 2,250 Bq/kg in 2001, and the trees with treatment dropped to an average of 240 Bq/kg (15).*

*Our observed range of 40 to 3,770 Bq/kg is consistent with the hypothesis that the fruits we observed with the highest  $^{137}\text{Cs}$  levels come from untreated fruits, whose contamination has gone down due to the natural decay of  $^{137}\text{Cs}$ , whereas the fruits we observed with the lowest  $^{137}\text{Cs}$  fruits could come from treated fruits. Given that we do not know which fruits were treated and which fruits were not treated, this is only a hypothesis. Another LLNL study, conducted in 2011, reports average Bikini  $^{137}\text{Cs}$  values of 720 Bq/kg for coconut meat and 990 Bq/kg for pandanus (14).*

<https://www.pnas.org/content/pnas/116/31/15414.full.pdf>

## D) Métabolisme du Césium

### 1) Bioassimilation

Au niveau bio-assimilation, le Césium a des propriétés chimiques similaires au potassium, car il se trouve dans la même colonne dans la classification périodique :

Potassium 19 K 39,0983(1)
Rubidium 37 Rb 85,4678(3)
Césium 55 Cs 132,905452

(Capture Wikipédia)

Donc sa distribution et sa diffusion dans le corps humain vont suivre la même voie au point de toucher beaucoup de tissus, et principalement les muscles.

### 2) Période Radioactive et période Biologique

Bien que sa **période radioactive** soit de 30 ans, la contamination (ponctuelle, vu que l'on est tous plus ou moins contaminés en proportions variables) n'est pas dans cette échelle car il faut également prendre en compte la **période biologique** : c'est le temps au bout duquel la moitié du radioélément sera éliminée de l'organisme.

En effet, le corps élimine par voie fécale et urinaire ce césium, comme il le fait avec le potassium.

### 3) Période Effective

Période physique **T<sub>p</sub>** et biologique **T<sub>b</sub>** font toutes deux réduire de concert la quantité du radioélément dans le corps : soit par désintégration, soit par excrétion : Cela donne la **période effective T<sub>e</sub>**.

T<sub>e</sub> se calcule assez simplement par

$$\frac{1}{T_e} = \frac{1}{T_p} + \frac{1}{T_b}$$

Ce que l'on réduit pour des raisons pratiques à :

$$T_e = \frac{T_p * T_b}{T_p + T_b}$$

Les plus attentifs remarqueront que l'on a la formule du calcul de résistances en parallèle. 😊

Dans le cadre du Césium 137, la T<sub>p</sub> est de 30 ans (10950 jours) et T<sub>b</sub> de 150 jours; la formule donne 148 jours de période effective.

On remarque que si les deux Périodes T<sub>p</sub> et T<sub>b</sub> sont très éloignées, la Période Effective sera en général de l'ordre de grandeur de la plus petite.

Ici dans le cadre du césium 137, c'est la période biologique qui prime.

Mais dans le cadre de l'iode 131, c'est l'inverse : T<sub>p</sub> est de 8 jours, T<sub>b</sub> est de 30 jours, donc T<sub>e</sub> = 6,3 jours.

Il faut faire assez attention à la Période Biologique, car c'est un paramètre qui peut varier dans de grandes proportions selon les spécificités individuelles : métabolisme, carence, pathologie, etc. si bien que l'on a souvent des marges de sécurité et cinétiques (saturation par ex).

## E) Bleu de Prusse : de la chélation au traitement

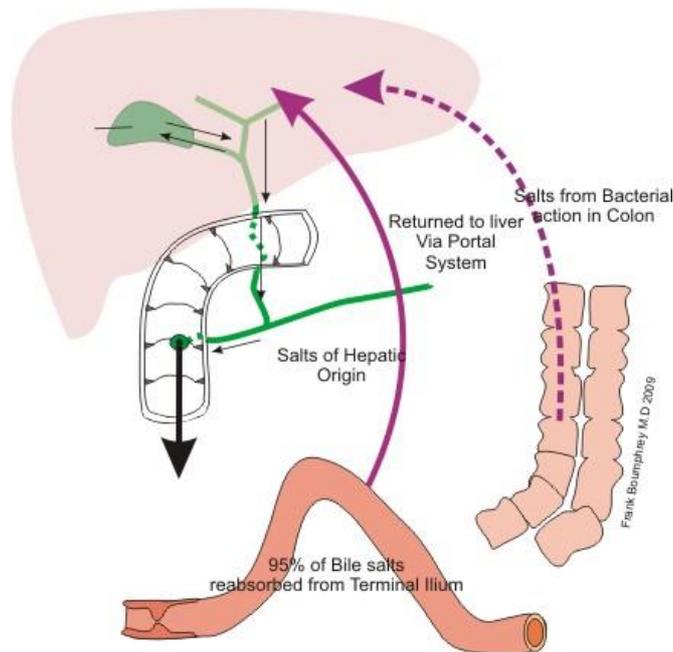
Concernant le Bleu de Prusse, il s'agit d'une molécule qui capture le césium dans le tube digestif (c'est un chélateur) et le rend insoluble. Il n'est quasiment plus absorbé. Donc sommairement, s'il y a ingestion de Césium 137, il est possible de le capturer avant assimilation avec quelques grammes de Bleu de Prusse, on parle alors d'antidote avec une dose de charge qui va dépendre de la quantité ingérée.

Cela explique :

- Pourquoi il est possible de traiter l'ingestion de césium même plusieurs heures après.
- Pourquoi le traitement anticipé n'est pas très efficace. Car dès que le BP est sorti du tube digestif, il n'y a plus d'effet.

Mais l'effet ne s'arrête pas là car le césium assimilé va suivre le mécanisme d'excrétion/absorption du cycle entéro-hépatique.

C'est à dire qu'il est sécrété par la vésicule biliaire dans le tube digestif (partie haute), puis est réabsorbé par l'iléon (partie basse) et retourne à la circulation sanguine par la veine porte :



Enterohepatic circulation of Bile salts

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Circulation\\_ent%C3%A9ro-h%C3%A9patique#/media/File:Bile\\_recycling.png](https://fr.wikipedia.org/wiki/Circulation_ent%C3%A9ro-h%C3%A9patique#/media/File:Bile_recycling.png)

Le Bleu de Prusse présent dans le tube digestif sera donc en mesure d'empêcher cette recapture, donc de stopper ce cycle infernal...et donc de diminuer la période biologique du Césium.

## F) Posologie

Cela explique :

- Pourquoi un surdosage du BP à J+1, 2 & co est relativement inutile car la quantité de césium excrétée dans la lumière intestinale restera faible. Ingérer plus de BP que nécessaire n'exposera qu'aux effets secondaires (constipation sévère, donc danger d'irradiation localisée). Les doses de maintien diminuent en général dès que l'on détecte une baisse de radioactivité des selles.

- Pourquoi la prise du traitement doit se faire de manière fractionnée. En général, les recommandations tournent autour de 3g 3x par jour (adulte- et 1g 3x par jour (<12 ans) pour la fiche **Piratome** et l'ANSM, 1g 3x par jour pour l'ASN. Ceci afin de prolonger la présence du BP dans le tube digestif et de maximiser les chances de capture.

Mon bouquin sur le risque NRBC cité plus haut se base quant à lui sur les résultats des traitements administrés lors de l'accident de Goiânia et les études menées par l'AIEA, à savoir entre 1 et 3g 3x par jour et jusqu'à 10g pour les cas sévères...avec suivi médical car il y a un gros risque d'hypokaliémie (donc cardiaque) et de constipation.

- Et enfin pourquoi le traitement doit se prolonger sur plusieurs semaines. Le BP ne "déloge" pas le césium de l'organisme, mais le capture uniquement lorsqu'il passe dans le tube digestif. Il ne fait donc que diminuer la période biologique, en général de 70% pour les adultes, et moins de 50% pour les enfants.

C'est beaucoup mieux que sans traitement, mais représente tout de même plusieurs mois dans l'ensemble.

A noter que la prise d'autres traitements concernant le Césium, comme des diurétiques, n'a pas vraiment fait ses preuves.

Pour finir avec notre Bleu de Prusse, au niveau pharmaceutique, il n'y a pas d'autorisation de mise sur le marché (AMM), donc il n'y a pas de molécule disponible au public. Seule la Pharmacie Centrale des Armées le produit et distribue et pour l'instant ça entre dans la catégorie des demandes d'autorisation temporaires d'utilisation (ATU)...avec le Radiogardase allemand.

Au prix de la boîte de 18g VS le prix du BP sur le marché, c'est assez curieux.

Sachant que très peu d'hôpitaux en ont en stock et qu'il en faut pas mal de grammes par patient, je laisse le mot de la fin à "*La menace terroriste NRBC, approche médicale*" :

*S'agissant des contamination au césium, des stocks considérables de Bleu de Prusse seront nécessaires afin d'assurer leur trainement au long cours. Enfin, l'administration de comprimés d'iodure de potassium devra être réalisée très rapidement pour être efficace mais il est peu probable que son délai d'instauration soit compatible avec les problèmes spécifiques posés par une attaque NRBC.*

## G) Digression 1 : le Bleu de Prusse pigmentaire et autres molécules :

*Kyraly :*

*Concernant le bleu de Prusse, on se sert au boulot de cela :*

*<http://www.wilmart.fr/marbre/1773-encre-de-tracage-bleu-de-prusse-pate-en-tube-80-ml.html>*

*J'ignore la composition exacte de ce produit, mais le revendeur maintien qu'il ne contient que du ferrocyanure ferrique, ce qui selon Wikipedia est la composition chimique du bleu de prusse ([https://fr.wikipedia.org/wiki/Bleu\\_de\\_Prusse](https://fr.wikipedia.org/wiki/Bleu_de_Prusse)). Donc, cela pourrait il convenir en cas de contamination au césium?*

J'ai aussi réfléchi à la possibilité des bleus de Prusse utilisés comme pigment (c'était ma boutade qui pointait le prix exorbitant du médoc VS la poudre usuelle bon marché) et essayé d'isoler les éventuelles impuretés. Car le BP en lui-même est plutôt inoffensif, mais les réactifs permettant de le préparer peuvent l'être selon le procédé de fabrication (chlorures par ex), il faudrait alors connaître la pureté des matériaux et/ou la méthode de fabrication.

Sous forme de pâte, il y a sans doute une huile avec. C'est quoi ?

Cependant, si on regarde les équations de plus près, on remarque que l'on reproduit en fait les composés de base pour les cyanotypes car le process est le même ; j'étais dessus depuis quelques temps dans un chapitre des Chroniques du Bunker pour faire des tirages post-apo : il s'agit de jouer avec les complexes du Fer.

Du coup, on a accès beaucoup plus facilement à des composés purs car les cyanotypes ont besoin d'un indice de pureté exemplaire pour que la réaction ne soit pas parasitée et sont toujours fabriqués par les amateurs.

Je vais regarder s'il me reste assez de ferricyanure pour faire un peu de BP purifié...et un tuto 😊

*Phil*

*Est-ce que, du coup, une résine chélatrice potassique (type Kayexalate), pourrait avoir un intérêt pour capter du césium?*

Le BP a une manière assez particulière de se lier au Césium, qui fonctionne avant tout par affinité sur le rayon ionique. Il me semble que les résines échangeuses d'ions procèdent plus par équilibre K/Na.

J'ai trouvé une étude sur le BP qui a accessoirement testé la possibilité Resonium (sulfonate de polystyrène sodique), équivalent donc du Kayexalate, en montrant plutôt son **inefficacité**.

[Merci Phil pour la correction]

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1588671>

*The in vitro binding characteristics of radioactive  $^{137}\text{Cs}$  to two forms of Prussian blue [colloidally (soluble)  $\text{K}_3\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  and insoluble  $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ ] and to activated charcoal and sodium polystyrene sulfonate (Resonium-A) were investigated by constructing Langmuir isotherms at  $\text{pH} = 1.0, 6.5$  and  $7.5$  at  $37$  degrees C. At the three  $\text{pH}$ s investigated,  $^{137}\text{Cs}$  binding to activated charcoal and sodium polystyrene sulfonate was negligible.*

## 2) Distribution à la population et dynamique de catastrophe

L'Iode  $^{131}\text{I}$ , a comme "traitement" la prise d'iode stable, bien connu sous la forme de pilule d'iodure de potassium de la Pharmacie Centrale des Armées. Le but est de saturer la thyroïde afin que  $^{131}\text{I}$  ne soit pas absorbé, tout en diluant le radionucléide dans l'organisme.



[Info : ces boites ont été achetées dans une pharmacie quelconque sans ordonnance fin 2018, il semblerait que la vente ait été simplifiée durant cette période]

### A) Radiogardase®-Cs-500 mg

Le Césium se "traite" avec le Bleu de Prusse, couramment présenté sous la forme **Radiogardase** et qui va agir en tant que chélateur.

Cf l'explication un peu plus haut, ici : [\[Stock + Fabrication\] Bleu de Prusse \(risque nucléaire\) Césium et comprimés](#)

Ces deux traitements ont en commun à la fois le fait qu'ils concernent un accident nucléaire...et qu'ils sont également tous les deux assez difficiles à obtenir.

Dans notre pays, l'un des plus nucléarisés, il est curieux que les stocks semblent aussi faibles voire inaccessibles au grand public...mais aussi aux professionnels de santé.

## **B) Logistique**

De ce que j'ai compris des schémas de distribution sur Santé Publique France: [Distribution en urgence des produits de santé](#), tout tourne autour de l'[Arrêté du 4 juin 2013 relatif aux modalités de distribution de certains produits de santé pour faire face à une situation sanitaire exceptionnelle](#)

*En cas de contamination de la population par des substances radioactives notamment le césium, les médecins sont autorisés à administrer et les pharmaciens à délivrer à ces mêmes médecins du Radiogardase®-Cs 500 mg, lorsqu'ils exercent au sein d'un établissement de santé qui en détient ou peut en obtenir auprès de l'établissement de préparation et de réponse aux urgences sanitaires.*

*Le professionnel de santé qui administre du Radiogardase®-Cs-500 mg enregistre, dans le dossier médical du patient mentionné à l'article R. 1112-2 du code de la santé publique, le nombre de gélules administrées, la date de l'administration et le numéro du lot.*

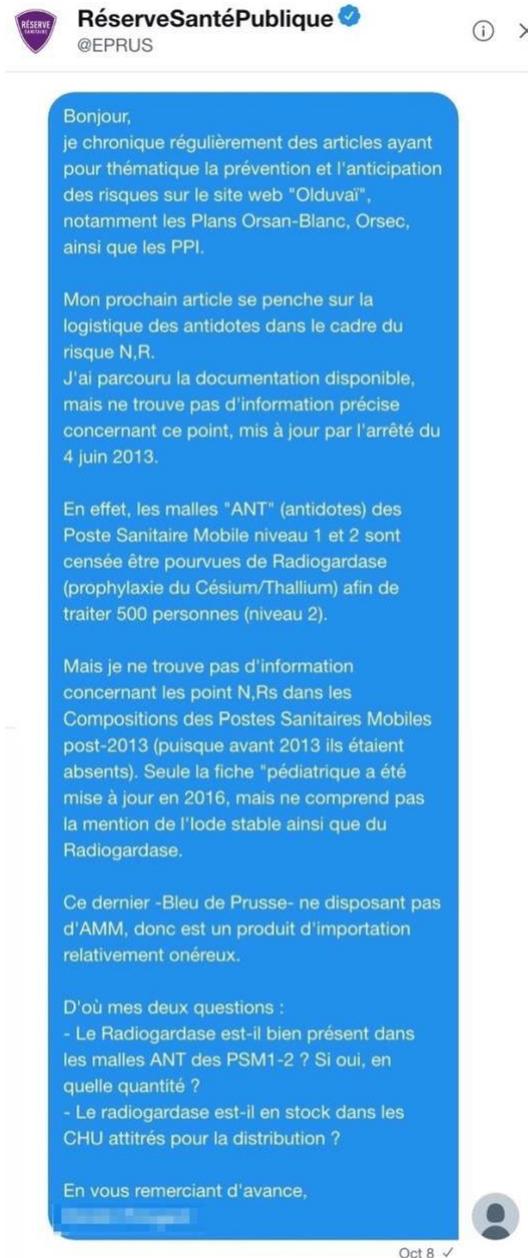
*Les professionnels de santé déclarent sans délai tout effet indésirable suspecté d'être dû au Radiogardase®-Cs-500 mg à l'établissement pharmaceutique de l'établissement de préparation et de réponse aux urgences sanitaires et à l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé.*

Je serais curieux de connaître le niveau de connaissances moyen des médecins français quant aux diagnostics et traitements de ce qui a trait aux pathologies NR.

Et j'aimerais l'avis des pharmaciens du forum car ceux de mon entourage n'en ont jamais eu en stock.

## C) Contact de l'EPRUS

J'ai contacté l'EPRUS -Établissement de préparation et de réponse aux urgences sanitaires- en charge de sa logistique par Formulaire de Contact et puis par MP Tweeter, faute de réponse.



Puis directement par tweet public, faute de réponse au MP :



Je n'ai bien évidemment pas encore reçu de réponse à mes questions autre que cette courte notification de Mme Clara de Bort.

J'ai par acquis de conscience renvoyé ces questions sur le formulaire de contact de Santé Publique France.

Mais ce qui me surprend le plus dans le message de Mme Bort de l'EPRUS est ce sous-entendu selon lequel ces informations n'auraient pas leur place sur une plateforme publique...

## D) Les Documents officiels

Niveau transparence je trouve que ce n'est pas terrible, mais surtout, on peut bien évidemment en trouver sans souci dans certains documents publics !

## 1) La Malle Antidote des Postes Sanitaires Mobiles

Exemple :

<http://cpcmu.eu/wp-content/uploads/2017/06/NRBC-Dr-Dindart.pdf>

### Contenu d'une malle Antidote Risque NR



Spécialité	Conditionnement	Posologie	Quantité (unité) pour 15 blessés	Coût de la dotation
<b>Succinaptal 200 mg</b>	Boite de 15 gélules	10 mg/kg (350 mg/m <sup>2</sup> ) toutes les 8 h	60	(360 €)
<b>Iodure de potassium cp 65 mg (PCA)</b>	Boite de 10 comprimés	2 comprimés	30	1,5 €
<b>Radiogardase Bleu de Prusse = hexacyanoferrate de fer Gélules 500 mg</b>	Boite de 36 gélules	3 grammes à répéter 3 fois par jour par voie orale	108	270 €
<b>Ca-DTPA Pentétate de calcium trisodique 250 mg/ml</b>	Boite de 10 ampoules	0,5g/jour soit ½ ampoule sans dépasser 1g/jour	20	90 €

<http://sfmc.eu/wp-content/uploads/2017/10/Antidodes-du-PSM2-et-lot-PRV-35-C.-Adamy-C.-Luans-PPt.pdf>

### Composition



	LOT PRV/SDIS	LOT PSM2/SAMU	COÛT UNITAIRE (TTC)
Atropine® inj 40mg/20ml	50	120	19,37 €
BAL®200 mg inj	60	0	35,73 €
Ca DTPA® inj	200	80	10,00 €
Ciprofloxacine® 500 mg cps	0	96	0,06 €
Contrathion® 200mg inj	180	320	8,68 €
Cyanokit®5g inj	12	60	612,6 €
Ineurope ® seringue	15	0	150,00 €
Iodure de potassium® 135mg cps	60	120	0,26 €
Kelocyanor® inj	60	0	14,76 €
Radiogardase® cps	0	432	2,55 €
Rivotril® 1 mg/1ml inj	54	360	0,56 €
Succimer® 200mg gel cps	150	240	6,13 €

Ce qui répond déjà pas mal à mes questions.

Cependant, ces documents semblent présenter quelques incohérences :

## 2) Quelques incohérences et gestion limitée

- Le premier doc mentionne la posologie, de 3 grammes 3x par jour par personne (donc 18 gélules/pers/jour). Avec des gélules de 500mg, pour 1 jour et pour 15 "blessés", cela donne 2x3x3x15, soit 270 gélules au minimum. Pourtant il précise qu'il n'y a que 108 gélules (3 boîtes de 36), donc de quoi traiter 6 personnes pour un jour uniquement. Et encore, les retex des cas où le bleu de Prusse a été utilisé ont montré qu'il fallait répéter la prise pendant plusieurs jours.

Le second tableau parle d'un total de 432 gélules sachant qu'il y a quatre malles ANT, cela semble homogène avec le premier doc :

La posologie de 18 gélules nous fait retomber sur 24 "blessés", donc bien 6 par malle ANT.

Donc un Poste Sanitaire Mobile de niveau 2, censé traiter en urgence 500 blessés, pourrait au total ne fournir un traitement qu'à 24 personnes pour un seul jour. Il n'y a plus qu'à espérer une réponse de l'Eprus et que les CHU aient bien en stock du BP....ceci étant la seconde question sans réponse.

Au vu de l'énorme problématique d'approvisionnement qui touche actuellement notre pays pour des médicaments plutôt usuels, on pourrait se poser des questions à propos d'un antidote sans AMM, vraiment pas bon marché avec application anecdotique (cadre du risque NR).

Pourtant, l'expérience montre que le traitement dans une situation de catastrophe nuke doit se faire très vite.

La logistique étant peu claire, j'ai la forte impression qu'elle risque de ressembler à celle de la distribution d'Iode Stable, c'est à dire :

## 3) Comment pourrait se mettre en place le Plan Particulier d'Intervention ?

**On est face à une planification-PPI amha un peu bipolaire :**

- Est-ce que la population va se présenter à la pharmacie à 1h du matin en pleine alerte, avec la sirène de confinement qui hurle au loin ?

J'ai de gros doutes quant à ce plan parfaitement huilé sur le papier.

- Les traitements s'expriment en terme de grammes par personne par jour, donc en boîtes. Est-ce que l'on pourrait être en mesure de traiter 200 personnes qui arrivent d'un coup aux urgences ?

Je me permets de citer mon ouvrage de référence dans le domaine : **Menace terroriste, nucléaire, radiologique, biologique, chimique : approche médicale.**

Si une catégorisation des scénarios peut être faite dans la perspective d'une gestion médicale afin d'anticiper les conséquences, le dimensionnement de la réponse à adapter à chaque grand type de scénario est plus délicat à prévoir.

Ce dimensionnement risque d'être considérable, comme le suggère l'accident historique de Goiânia au Brésil en 1987, le plus grave après Tchernobyl, qui est le seul accident de dissémination de radionucléides pouvant servir de modélisation à un attentat radiologique en vraie grandeur.

Ainsi cet accident, avec dissémination involontaire et non explosive d'une poudre de césium-137 de 51TBq, a entraîné la mort de 4 victimes, a provoqué de sérieuses brûlures radiologiques chez 28 autres, a contaminé 249 personnes et a nécessité le contrôle en terme de contamination de 112000 personnes, soit un rapport de 3500 entre le nombre de personnes à contrôler et le nombre de victimes.

L'importance de ce dernier chiffre situe bien l'ampleur de la réponse sanitaire à planifier dans un attentat terroriste à caractère radiologique.

NB : L'accident de Goiânia a été d'origine involontaire et causé par des récupérateurs de métal qui ont dispersé 16 grammes de Césium 137 (51 TBq) en ouvrant une capsule d'appareil de radiothérapie.

Tout comme avec l'iode stable (ici : [Fabriquer des comprimés d'iodure de potassium iode](#)) je vous livre un tutoriel qui vous permettra de fabriquer du Bleu de Prusse de grande pureté avec du matériel rudimentaire.

***En petit disclaimer usuel sur un forum d'Anticipation des Risques tel qu'Olduvaï :***

*Le but n'est bien évidemment pas de remplacer un traitement officiel -bien que sans AMM- qui sera sûrement fourni avec un plan aux petits oignons à la population.*

*Tout sera en ordre, bien carré et les quelques personnes -moins de 24- touchées par l'accident seront bien disciplinées en file d'attente devant le PMS niveau 2.*

*Ce tuto prend son cadre dans une situation critique dans lequel un hypothétique Etat serait dépassé par les événements. Par exemple -soyons fous- une catastrophe nucléaire sur un territoire nucléarisé avec des rejets de césium à 200km autour d'un réacteur.*

*Pour anecdote, il y a environ 40 millions de français à moins de 100km d'une centrale :*

<http://www.lefigaro.fr/conjoncture/2017/11/14/20002-20171114ARTFIG00018-faites-vous-partie-de-la-population-la-plus-a-risque-en-cas-d-accident-nucleaire.php>

DÉTAIL DES POPULATIONS CONCERNÉES PAR SITE

Site	5 Km	20 Km	60 Km	80 Km	100 Km
Nogent	7 941	75 886	856 725	2 679 439	10 169 393
Bugey	7 891	210 346	3 046 159	4 453 119	5 782 614
Saint-Alban	35 897	271 030	3 235 152	4 239 767	5 292 380
Cruas	9 728	146 459	888 321	1 618 177	3 284 594
Gravelines	17 220	304 870	902 137	2 213 472	3 201 664
Chinon	9 535	99 219	1 002 753	1 843 527	2 772 727
Tricastin	40 838	134 070	1 228 779	1 908 018	2 765 289
Dampierre	2 826	68 271	780 468	1 454 550	2 617 674
Penly	9 181	105 176	778 659	1 640 740	2 600 600
Golfech	9 638	116 258	716 160	1 822 293	2 461 188
Fessenheim	5 671	74 490	1 005 710	1 905 733	2 442 784
Saint-Laurent	7 074	86 058	871 418	1 478 219	2 383 618
Blayais	4 580	69 389	1 444 278	1 927 198	2 354 814
Paluel	6 923	46 735	1 106 545	1 559 154	2 121 329
Cattenom	17 972	273 223	1 065 488	1 378 144	1 921 253
Civaux	4 690	55 086	523 873	900 582	1 849 811
Belleville	5 127	52 116	497 786	1 001 882	1 753 480
Chooz	5 242	29 517	328 360	542 578	1 054 380
Flamanville	3 537	46 345	244 103	360 339	565 797

*Voire, pour les escatologistes, de la synthèse d'un traitement avant l'effondrement d'une civilisation qui sera incapable de maintenir un parc de 58 réacteurs sans qu'ils n'exploient.*

*Ceci n'est donc qu'à but informatif ni moi ni le forum ne pourront être tenus responsables en cas d'accident ou de dommages. Et patati patata.*

Il va falloir pratiquer un peu la chimie, mais je suis là pour vous guider. Si vous suivez correctement ce tuto et les mises en garde, il ne devrait y avoir aucun danger. D'ailleurs, de nombreux professeurs des écoles manipulent les mêmes produits avec leurs élèves pour tirer des cyanotypes sans aucun souci. 😊

Le Bleu de Prusse a un prix exorbitant, en général plus de 100€ la boîte. Je vous démontre ici que c'est de la poudre aux yeux, sans mauvais jeu de mots...

# 3) Les Cyanotypes pour comprendre la synthèse du Bleu de Prusse

## A) Structure des différentes parties

Voici l'introduction du tutoriel pour fabriquer du Bleu de Prusse, c'est à dire un équivalent du Radiogardase en vue de fournir un traitement pour la contamination au Césium joli pigment pour réaliser de très belles estampes.

Plutôt que de livrer d'un bloc l'ensemble, j'ai préféré scinder en plusieurs chapitres car ce tuto est long en explications, mais fort heureusement assez rapide dans l'application.

Une pause entre chaque étape m'a semblé bienvenue 😊

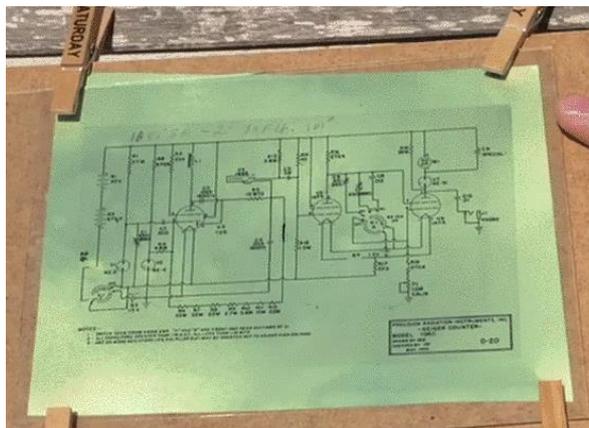
Trois autres posts vont donc suivre assez "rapidement" :

- 1) Principes et Fabrication de Cyanotypes : pour étudier la théorie en réalisant un pigment et de jolis tirages.
- 2) Matériel et réactifs de l'expérience : ceux que l'on doit acheter et ceux que l'on peut synthétiser.
- 3) Fabrication du Bleu de Prusse

J'ai décidé de le rendre indépendant des hébergeurs de vidéo comme Youtube, qui sont difficiles à intégrer à un PDF ou à extraire pour archivage.

Vous aurez à la place des gif animés de mon cru, qui sont explicites en ne montrant que l'essentiel, tout en restant "low tech" et fonctionnels sur à peu près toutes les plateformes depuis win98 😊

[Note pour le PDF : les GIF animés ne sont pas supportés, je vous mets le lien direct vers l'hébergeur]



<http://oldu.fr/images/Articles/Circuits.gif>



L'ensemble du tuto a été réalisé volontairement avec du matériel -éprouvettes, ballon, bécher, etc- **venant d'un kit de chimie pour enfant à 3€** en brocante, montrant qu'avec peu mais de la débrouille, on fait beaucoup :

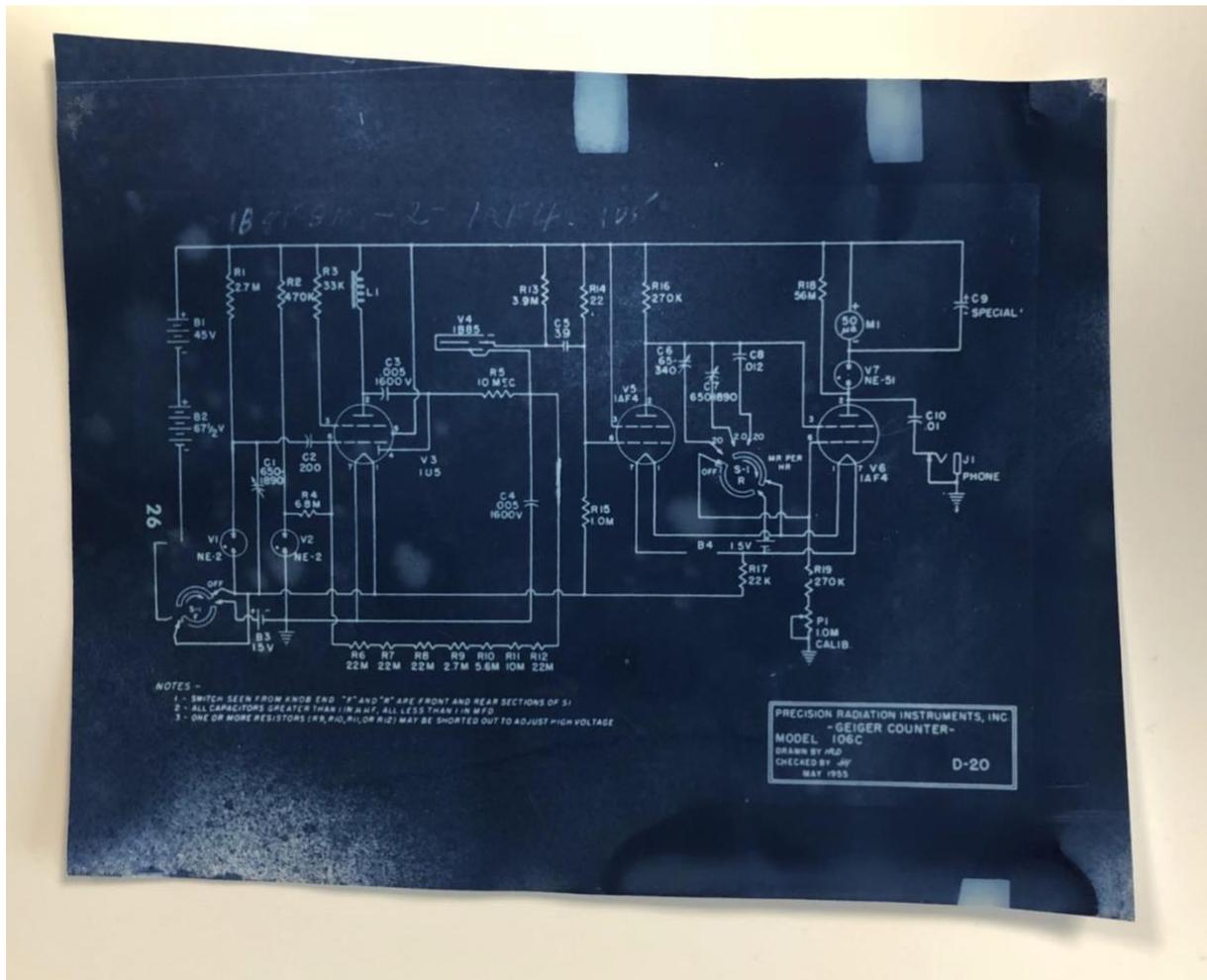


Mais bien entendu, tout est réalisable avec des ustensiles de cuisine. 😊

# 4)[Chapitre 1] Principes et Fabrication de Cyanotypes

## A) Introduction

La technique des cyanotypes permet de reproduire des images en négatif et historiquement, on dupliquait les plans avec. C'est pourquoi beaucoup d'anciens plans sont bleus et appelés "blueprint" en anglais, comme celui du Compteur Geiger présenté dans le post précédent :



Il vous faudra donc un ingrédient principal pour faire du Bleu de Prusse dans ce topic, qui est fort heureusement très commun dans le domaine de la photo : le **ferricyanure de potassium**.

En un second ingrédient si vous souhaitez réaliser les cyanotypes de ce chapitre : du **citrate de fer ammoniacal**.

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, ce ferricyanure n'est pas toxique, et ne libère pas de cyanure naturellement, tout comme le Bleu de Prusse, aussi appelé hexacyanoferrate de potassium.

C'est pourquoi le cyanotype est une activité abordée à l'école primaire et avec les tous petits (exemple [ici](#)): si on respecte le protocole, il n'y a pas de danger.

**Mais cela me permet de poser la première mise en garde :**

**Seul un acide fort peut attaquer un cyanure métallique pour libérer des composés toxiques. Il ne faut JAMAIS mélanger du bleu de Prusse, du ferrocyanure ou du ferricyanure à un acide fort, tel que chlorhydrique ou sulfurique concentré.**

**La règle principale de fabrication est : un établi propre et rangé !**

Pour l'anecdote culturelle : le terme "cyanure" semble provenir historiquement du grec Kuanos, qui signifie bleu sombre.

Bien que le cyanure (de potassium) soit blanc, il semble que son nom vienne des composés du cyanure, tels que le Bleu de Prusse...cyan -> cyanure. 🤔

## **B) Un peu de chimie : l'état d'oxydation**

Le Ferricyanure est un composé qui se présente sous forme de cristaux rouges, tandis que le Ferrocyanure est une poudre blanche.

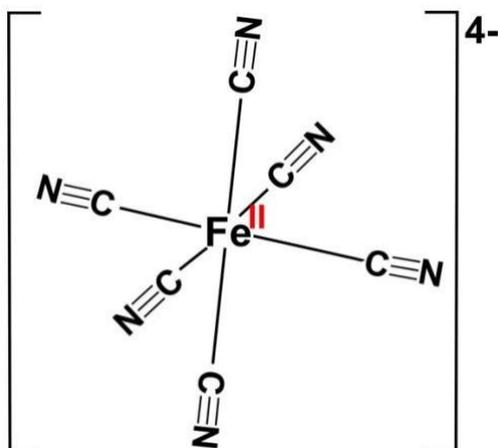


La différence principale entre les deux composés se trouve dans l'état d'oxydation de l'atome de fer :

## 1) Le Ferrocyanure

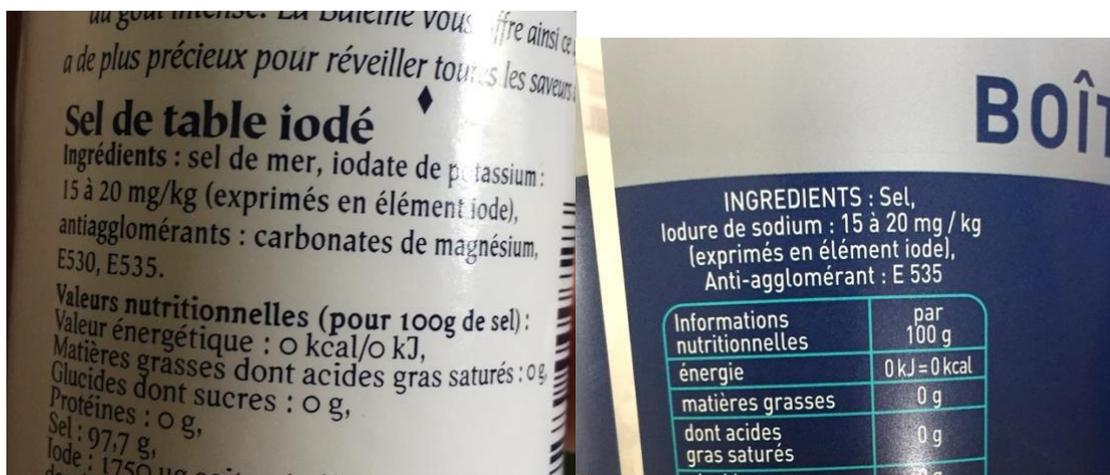
**Ferro** : l'atome de Fer (Fe) a perdu deux électrons et devient donc un ion **Fe<sup>2+</sup>**

**Une représentation du Ferrocyanure : Un ion Fer <sup>2+</sup> est lié à 6 groupements cyanures CN**



On trouve du Ferrocyanure de potassium ou de sodium quasi-systématiquement dans notre alimentation avec le sel de table; tout le monde en consomme sans le savoir.

Allez regarder du côté du vôtre, il y a de fortes chances que vous trouviez dans la liste des ingrédients le fameux **E535** (Ferrocyanure de sodium) ou **E536** (Ferrocyanure de potassium), à hauteur max de 20mg/kg selon la réglementation.



C'est l'un des arguments pour lesquels certains se tournent vers le sel de mer brut sans aucun additif (quitte à ce que le sel s'agglomère un peu), et pourquoi certains suspectent que leurs maux de tête viennent de ce composé, en supposant que les acides utilisés en cuisine pourraient libérer le cyanure de ce sel. Amha, cela nécessite plus d'investigation pour trancher.

C'est également un additif en œnologie pour déferriser un vin, et éviter la casse ferrique, qui ne fait que reproduire ce que l'on verra dans ce tuto : du Bleu de Prusse !

[<http://www.viticulture-oenologie-formation.fr/vitioenofmlycee/pdtoenotsvo2-2006-2007/ferrocyanure.html>]

#### 4.6.5 Le traitement avec le ferrocyanure de potassium

*Le traitement des vins par le ferrocyanure de potassium ou « collage bleu » (Fig. 4.1) a été recommandé en Allemagne dès 1923. En France, ce traitement est autorisé depuis 1962 pour les vins blancs et rosés, même s'ils sont mousseux; il est autorisé encore pour les vins doux naturels.*

[...]

*Le ferrocyanure de potassium réagit avec les ions ferreux,  $Fe^{2+}$  et les ions ferriques  $Fe^{3+}$ , entraînant la formation de plusieurs sels insolubles diversement colorés; ils sont blancs avec le fer ferreux et bleus (bleu de Prusse) avec le fer ferrique. D'autres métaux sont également précipités, surtout le cuivre et le zinc, éventuellement le plomb et l'étain.*

*Sur le plan pratique du traitement des vins, on admet qu'il faut entre 6 et 9 mg de ferrocyanure de potassium pour éliminer 1 mg de fer.*

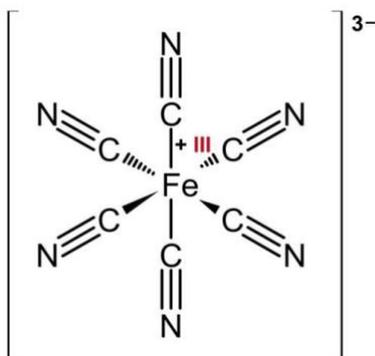
La précipitation des protéines n'est pas due au ferrocyanure lui-même, mais au complexe ferrique insoluble ; en effet, si on ajoute du ferrocyanure de potassium dans un vin exempt de fer, on n'observe pas de trouble protéique.

On constate dans tout ceci que la casse bleue est en fait une réaction de synthèse naturelle de Bleu de Prusse... 😊

Comme ces réaction se font sur de très petites quantités, le BP synthétisé est sous forme colloïdale (cad que l'on ne pourra pas retenir dans un filtre); ce qui aura son importance dans le protocole du chapitre 3, et explique pourquoi il sera nécessaire de "coller le vin" afin de le récupérer.

## 2) Le Ferricyanure

**Ferri** : l'atome de Fer (Fe) en a perdu 3 électrons, il devient donc un ion  $\text{Fe}^{3+}$   
**Une représentation du Ferricyanure** : Un ion  $\text{Fe}^{3+}$  est lié à 6 groupements cyanures CN



On le trouve dans la plupart des kits de chimie pour enfants, pour indiquer la présence d'ions fer...et de fabriquer au passage -sans le savoir- du BP 🤪

**Contenu du kit :**

- Livret éducatif de 36 pages
- Blouse de scientifique
- Ferricyanure de potassium
- Sulfate d'ammonium ferreux
- Carbonate de sodium
- Acide citrique
- Poudre de tournesol
- Flacon pour solution de tournesol
- Bandes de papier pH
- Lunettes de protection
- Gangs de Gants
- Verres à mesurer
- Bouchons pour verres à mesurer
- Tubes à essai
- Bouchons pour tubes à essai
- Spatule en plastique
- Pipettes

Ici un kit pour fabriquer des cristaux :



A chaque fois, l'atome de fer est relié à 6 ions cyanures CN.

C'est un composé historiquement découvert et fabriqué lors de la combinaison de sang, de bois et de sel.... typiquement lors d'un barbecue 😊

On peut obtenir du Ferricyanure en faisant "buller" du dichlore dans une solution de Ferrocyanure.

Mais inutile de fabriquer du Ferri si vous avez du Ferro, comme je l'ai déjà vu dans la plupart des tutos sur le net, car la fabrication du Bleu de Prusse peut se faire via les deux réactifs : à partir de ferro mais aussi de ferricyanure.

Il y a des tutoriels qui permettent de fabriquer ces deux composés de base, mais amha un peu trop dangereux pour les évoquer sur un forum public.

On le trouve pur sur beaucoup de boutiques en ligne. Perso j'ai choisi Disactis, qui le propose pour environ 10€ les 100g...pour la fabrication de cyanotypes.

Et 7€ les 100g de citrate de fer. [Note : les prix évoluent...]

Avec 100g, vous aurez de quoi réaliser quelques centaines de tirages "cyano" ou environ 60 doses/jour/personne, c'est à dire 1 dose quotidienne pour 6 personnes pour 10 jours...ce qui est amha loin devant les Postes Mobiles de Secours cités plus haut.

## C) Les Cyanotypes

Voici le premier chapitre du tuto sur la fabrication du Bleu de Prusse.

### 1) La Chimie pour les nuls : la réaction en version courte

Les cyanotypes font intervenir en tant que réactifs le **Ferricyanure de potassium** et un autre composé ferrique (exemple : des ion "fer")

Il va se former du Bleu de Prusse intense, insoluble et qui va donc rester dans les fibres du papier.

C'est aussi pour cela que le BP tache de manière quasi irréversible toutes les substances naturelles !

Très sommairement, le Fer **Fe<sup>3+</sup>** de notre ferricyanure va réagir avec des ions fer **Fe<sup>2+</sup>** , par exemple d'une solution de Chlorure de Fer II, pour former du BP.

Accessoirement, le Fer **Fe<sup>2+</sup>** du ferrocyanure peut réagir avec les ions fer **Fe<sup>3+</sup>** , par exemple d'une solution de Chlorure de Fer III, en solution pour former du BP.

La réaction consiste en un transfert d'électrons pour arriver au même produit final, bien que pendant longtemps on a considéré que la première réaction -au **ferricyanure**- produisait du **Bleu de Prusse** tandis que la seconde - au **ferrocyanure**- produisant du **Bleu de Turnbull**, alors que le produit final est identique chimiquement.

D'où l'inutilité de fabriquer du ferricyanure si vous avez du ferro ! Bien que des tonnes de tutos sur le net tentent de convertir inutilement du ferro en ferri.

La quasi-totalité des kits pour réaliser des cyanotypes vont donc se composer de :

- **ferricyanure de potassium**
- **de citrate de fer ammoniacal**

## 2) La recette et le matériel

**Note importante : ici il s'agit du tuto pour faire des cyanotypes. Le prochain chapitre va détailler comment faire du Bleu de Prusse sans. Car nous verrons que le citrate est insuffisant. Si vous ne souhaitez pas faire ce genre de tirages, mais juste du BP, n'en achetez pas !**

Voici ma recette, parmi tant d'autres, volontairement avec du matos que tout le monde peut trouver. Il vous faudra :

- 6g de ferricyanure de potassium
- 12g de citrate de fer ammoniacal : il s'agit d'un ratio  $1/3 \leftrightarrow 2/3$  perso, mais on peut très bien avoir 50/50
- Trois flacons : deux avec bouchon et un pschit à plantes, que l'on trouve à 1€ au rayon des affaires de voyages.
- des seringues pour les petits volumes, quelques euros dans les drogueries ou en pharmacie. Les plus attentifs remarqueront qu'il s'agit ici d'une seringue à cocktail pour doser la gnôle...
- une petite balance de précision (de mémoire 8€), mais ce n'est pas vital pour le cyanotype car toutes sortes de proportions fonctionnent. 😊



La seringue permettra soit d'obtenir les bons volumes d'eau, soit de graduer directement le récipient. Une chose fondamentale : ne pas oublier de tarer avant pesée.



Ici j'ai dissous 6g de ferrocyanure de potassium avec 50mL d'eau pour obtenir la solution A :



Et là j'ai dissous 12g de citrate de fer ammoniacal avec 50mL d'eau pour obtenir la solution B :



Il faut attendre un peu pour que la dissolution soit complète, c'est fini quand la solution est homogène sans cristaux au fond.



A noter qu'à 20°C, on peut dissoudre au max 460g de Ferri dans 1L d'eau, donc 23g max dans 50mL d'eau. Au delà, il y aura toujours des cristaux au fond.

Quant au citrate, on est moins limité, puisque l'on peut dissoudre 1200g dans 1L d'eau, donc au max 60g par 50mL.

Des deux solutions A et B ne sont pas photosensibles séparément. Seul le mélange l'est, donc on ne le réalise qu'à l'a toute fin.

Elles peuvent en général être stockées quelques semaines, mais concernant le citrate (ammoniacal), les biologistes pourront remarquer qu'il y a tous les ingrédients pour nourrir bon nombre de bactéries/levures (hydrogène, carbone, azote, oxygène et fer, cf CHON et le cycle de l'azote).

Donc la solution B est très sujette à la contamination bactérienne et aux moisissures. C'est pourquoi on ajoute divers produits conservateurs pour la préserver, mais qui ne participeront pas à la réaction.

### 3) Retour à l'équation : l'incohérence n'est qu'apparente

Mais les attentifs auront remarqué que le citrate de fer ne contient que du Fer **Fe<sup>3+</sup>**, pas de Fe<sup>2+</sup>.

Comment la réaction du Bleu de Prusse peut-elle se produire, vu que l'on a du Ferri Fe<sup>3+</sup> mélangé à des ions Fer Fe<sup>3+</sup> ?

Tout simplement parce que ce citrate de fer est un **composé photosensible**, plus particulièrement aux UV !

Son exposition à la lumière va transformer progressivement le Fe<sup>3+</sup> en Fe<sup>2+</sup>.

**Ce Fe<sup>2+</sup> va donc réagir avec le Ferricyanure pour former du Bleu de Prusse.**

On comprend alors mieux le lien avec les cyanotypes, et pourquoi on réalise des tirages de négatifs.

### 4) [Aparté Nuke]

Si le citrate est réactif aux UVs, je me suis demandé s'il l'était aux rayons gamma ou X, puisque d'énergie supérieure. Cela aurait donné un réactif sensible à ces rayonnements ionisants...mais mes tests n'ont pas été concluants avec la pastille au radium, ni les sources au Plomb 210.

Mais je pense re-tester cette expérience avec deux axes de recherche :

- un mélange plus concentré
- un mélange classique, mais mélangé avec un composé radioluminescent, tel que du sulfure de zinc.

Peut-être que les émetteurs alpha seraient également susceptibles de déclencher la réaction, car déposant beaucoup plus d'énergie dans la matière...

[Fin de l'aparté]

## D) Explications du principe en photos.

Voici l'une des miennes prises lors d'une randonnée : Quand je parlais de la réactivité des smartphones pour capturer un moment...

### 1) Création du négatif



Comme c'est un procédé monochrome, on la convertit en dégradés de gris :



Le cyanotype crée un négatif ; il faut donc convertir l'image en négatif (négatif de négatif = positif) et l'imprimer sur une feuille transparente.



Prenons en points de repère les nuages blancs.

## 2) Mise en place de films et insolation

En négatif, ces nuages sont noirs-gris. Du coup, quand place le négatif sur une feuille imbibée du mélange pour cyanotypes, les nuages "noirs" empêcheront la synthèse de bleu de Prusse. Car le citrate photosensible ne sera pas exposé au soleil, donc non converti en  $Fe^{2+}$ . Le papier va rester "blanc" en dessous :



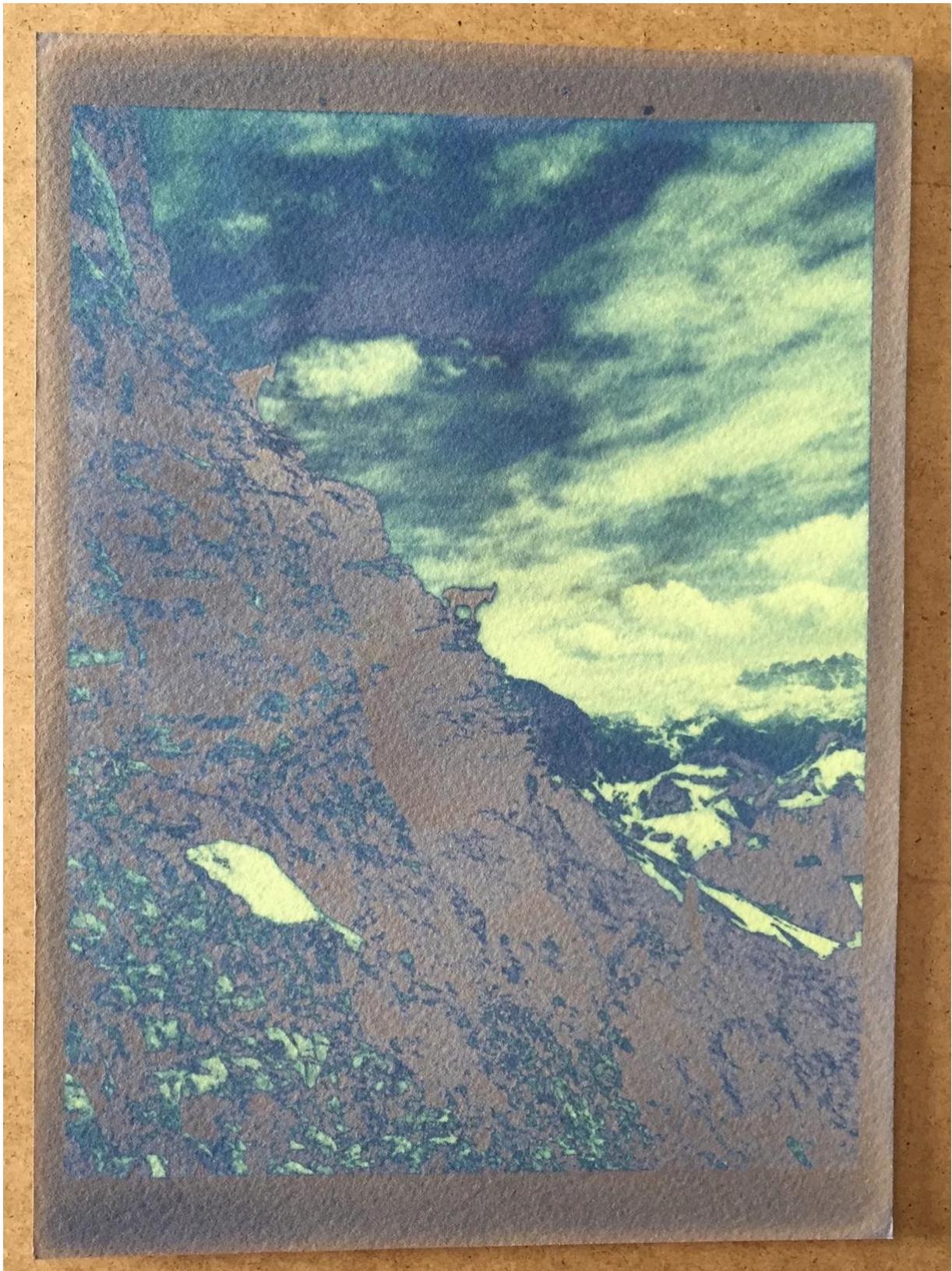
Ici, après une exposition longue, on remarque que le bleu devient gris. Il s'agit de "*Blanc de Prusse*", qui montre un état d'oxydation avancé.

Ce n'est pas grave car le contact avec l'humidité (la prochaine étape) va transformer ce blanc en bleu de Prusse; certains cyanotypeurs l'utilisent comme point de référence pour arrêter l'exposition.



### 3) Lavage du tirage

On retire le calque : on pourrait penser que l'insolation a été trop forte :



Mais après exposition, il est absolument nécessaire de laver le tirage afin de retirer les produits (jaunes-verts) qui continueront réagir (et donc de produire du BP), ce qui va aussi retirer une bonne quantité de pigments qui n'auront pas "accroché" à la fibre.

En général, c'est terminé quand on a retrouvé le blanc originel du papier.



Les cyanotypes permettent un grain assez fin, qui va dépendre principalement de votre papier :

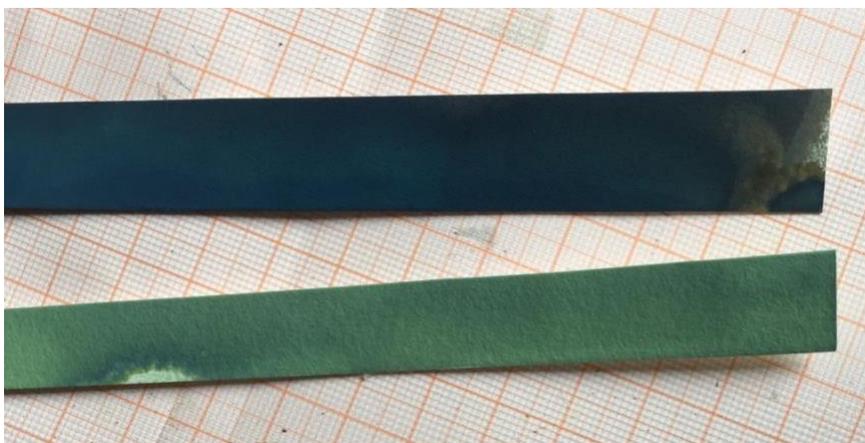


### **E) Fabrication des feuilles photosensibles**

Maintenant, vous pouvez mélanger vos solutions A et B dans un 3e flacon pour former la solution C, photosensible. Mais attentions, bien à l'abri de la lumière car la réaction pourra commencer !

A noter que même la lumière indirecte peut insoler, voici par exemple deux bandelettes

- celle du haut à la lumière du jour.
- celle du bas en intérieur, plutôt à l'ombre.



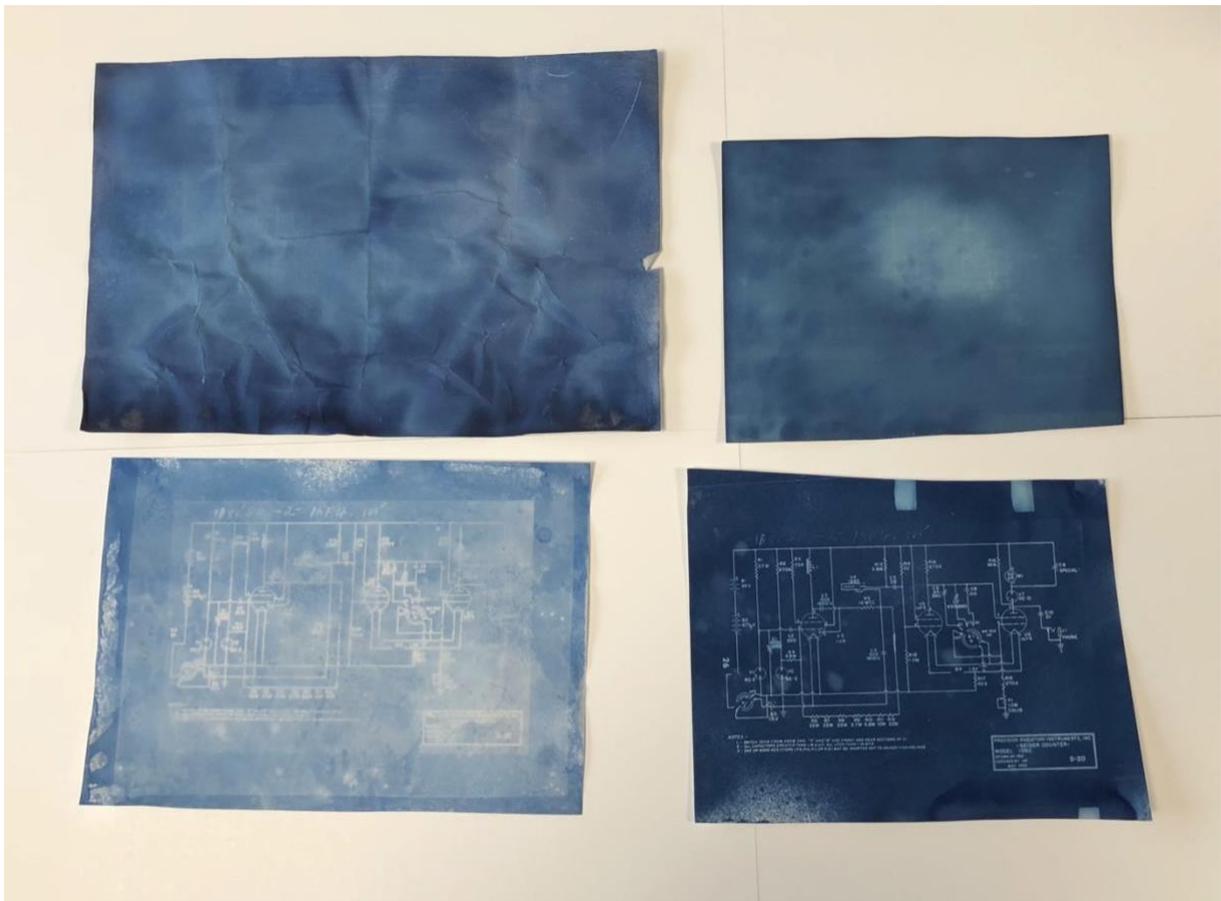
Concernant la solution du flacon C, il finit au bout de quelques jours par devenir du BP.



### 1) Le choix du papier :

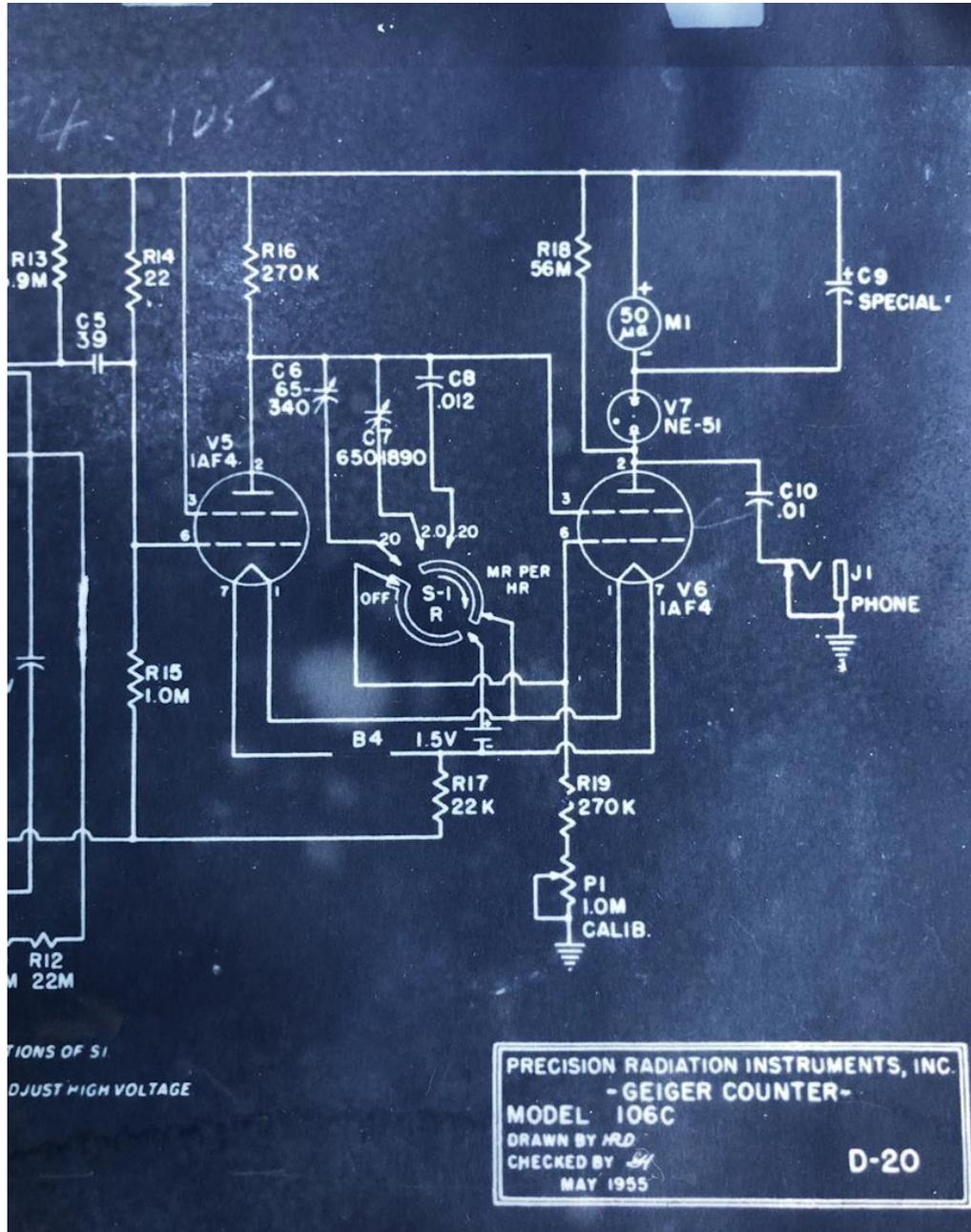
Il va jouer un rôle majeur.

J'ai par exemple testé quatre types avec exactement les mêmes paramètres :



On remarque que certains papiers ne fixent pas vraiment ou dénaturent le BP (sans doute la chimie, des oxydants ou les azurants optiques).

Celui pour lequel cela a fonctionné est un papier type dessin au fusain, permettant des détails assez fins :





Ici, autre aspect : un papier (à dessin) dont la fibre ne retient pas grand-chose, à côté de celui d'un autre fabricant.



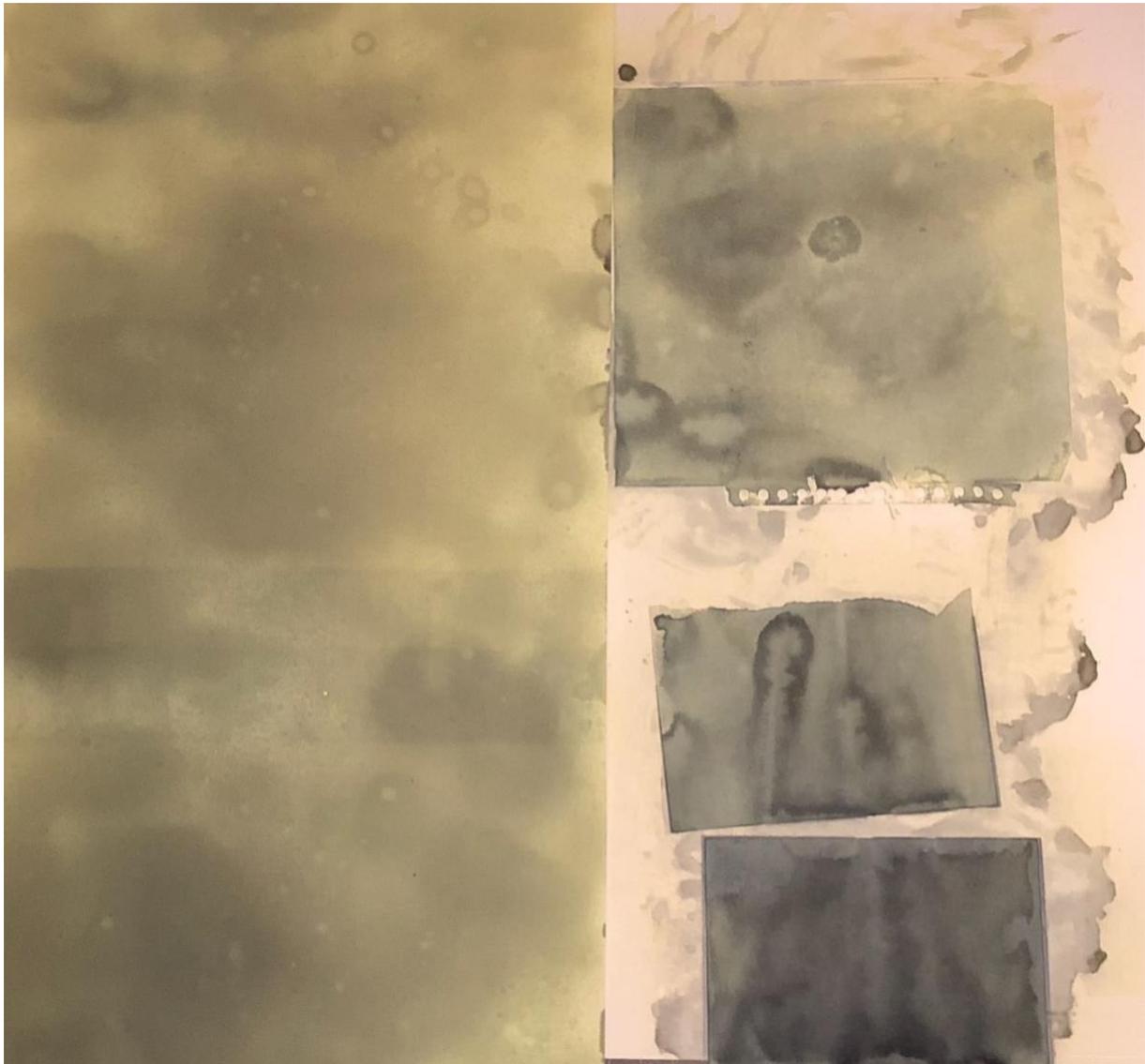
Après avoir choisi un beau papier -et qui convient- pour vos cyanotypes, il va falloir les imbiber de votre solution C.

Ici, plusieurs méthodes sont possibles. J'ai utilisé un mini-spray par facilité, mais je recommande le petit rouleau de peinture, bien plus homogène.

Le but ici est d'imprégner le papier, jusqu'à ce que toute sa surface soit jaune-verte, puis le sécher. Il doit être parfaitement sec avant utilisation (sinon les pigments partiront au lavage).

Cela peut prendre quelques heures.

Amha, c'est aussi sensible à l'oxydation de l'air (et du papier), car certaines feuilles peuvent se mettre à bleuir pendant le séchage :

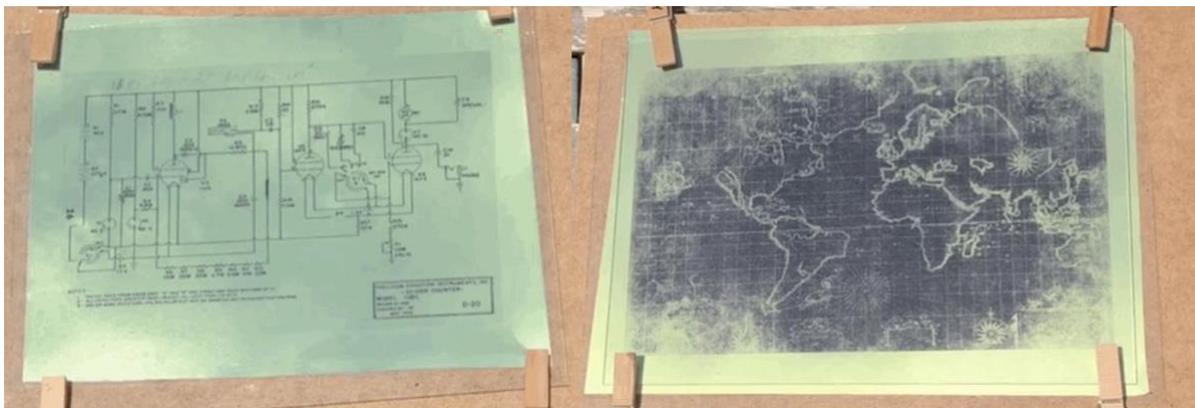
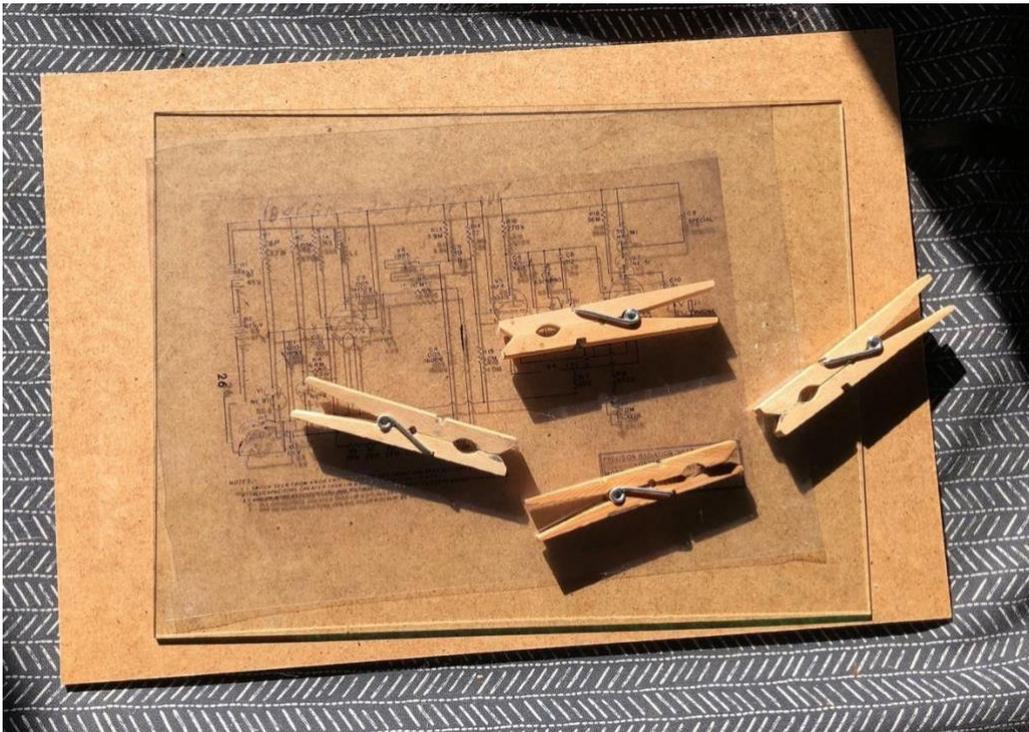


Ce n'est pas critique, mais vous aurez un léger voile sur vos tirages.

## 2) Préparation des plaques :

J'ai fait simple, il vous faut :

- un support rigide, pour maintenir l'ensemble
- votre image imprimée en négatif sur un film transparent (ou un négatif de photo...)
- votre papier photosensible bien jaune-vert.
- de quoi aplatir tout ça : j'ai utilisé une plaque en verre. Cela atténue un peu les rayons UV et demande quelques minutes de plus, mais la moindre vague sur le film se traduira par un flou sur le tirage.
- du scotch, des pinces à linge ou autre.



Ou plus simplement prendre tout le cadre photo, ce qui demande plus de manips, mais reste bien accroché :



### 3) L'exposition

Au niveau de l'exposition, cela va fortement dépendre de votre Soleil. En plein mois de Juillet caniculaire, mes cyanos ne nécessitaient pas plus d'une minute d'insolation. Tandis que début Septembre (on voit combien de temps je mets pour rédiger un article...), j'ai exposé environ 8 minutes chaque feuille.

Ce qui donne, compressé en 3 secondes :

<http://oldu.fr/images/Articles/MapMonde.gif>

<http://oldu.fr/images/Articles/Circuits.gif>

Comme je l'avais précisé plus haut, il ne faut pas hésiter à surexposer, car l'étape suivante va diminuer la densité de vos tirages.

Vous pouvez aller quasiment toujours jusqu'à ce que le tirage vire au blanc.

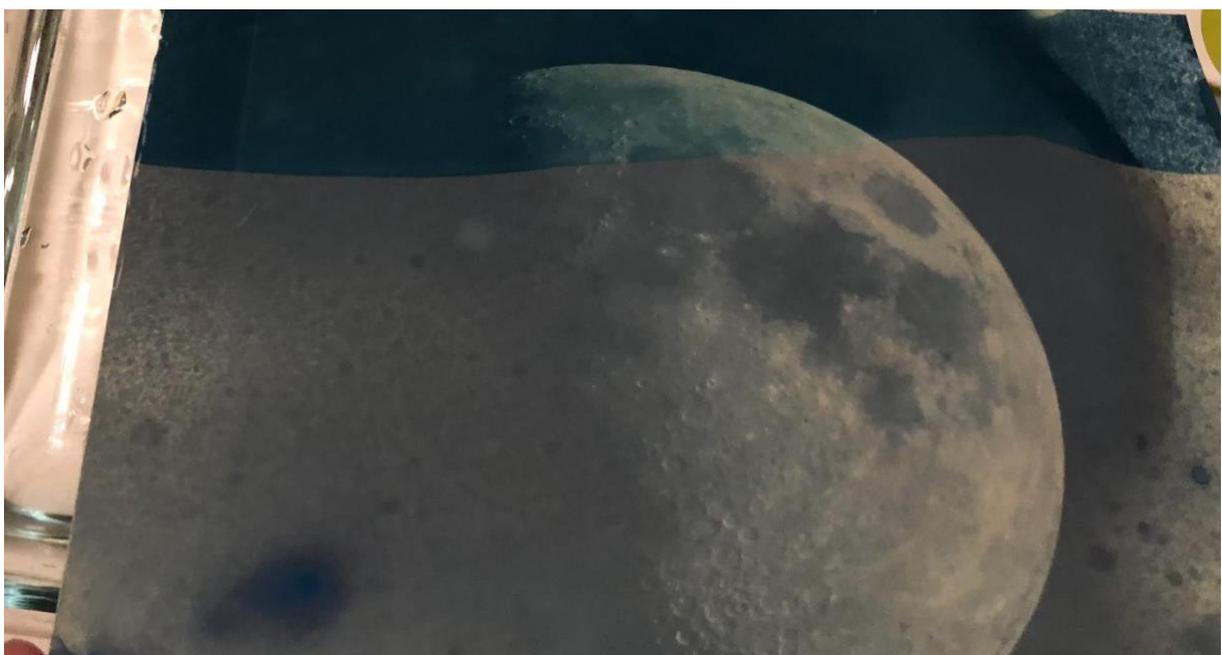
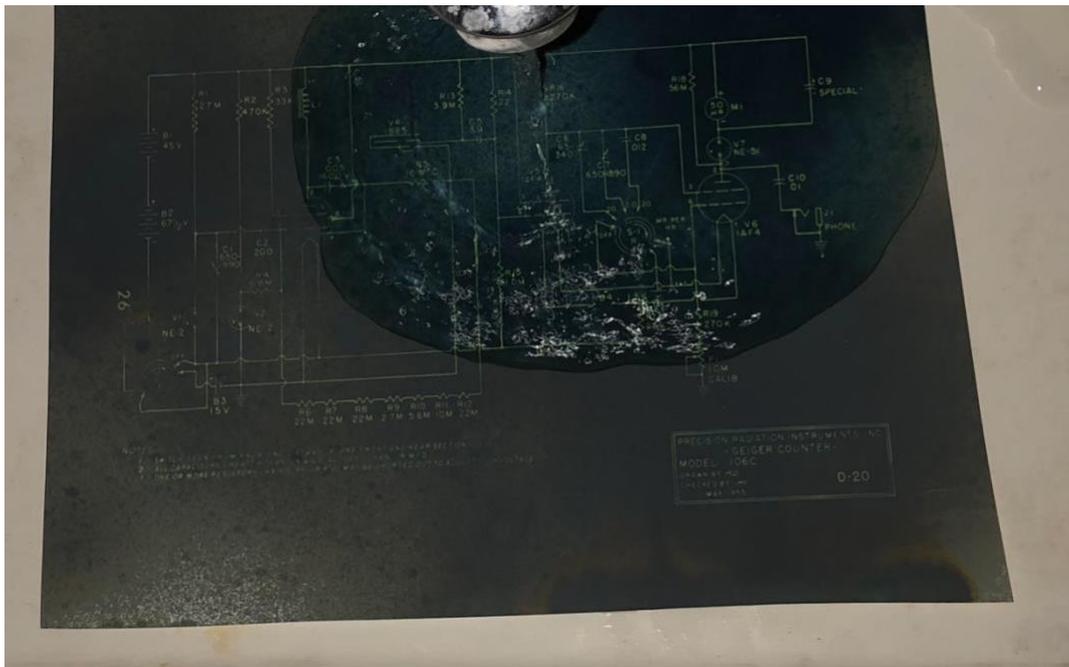
#### 4) Le lavage

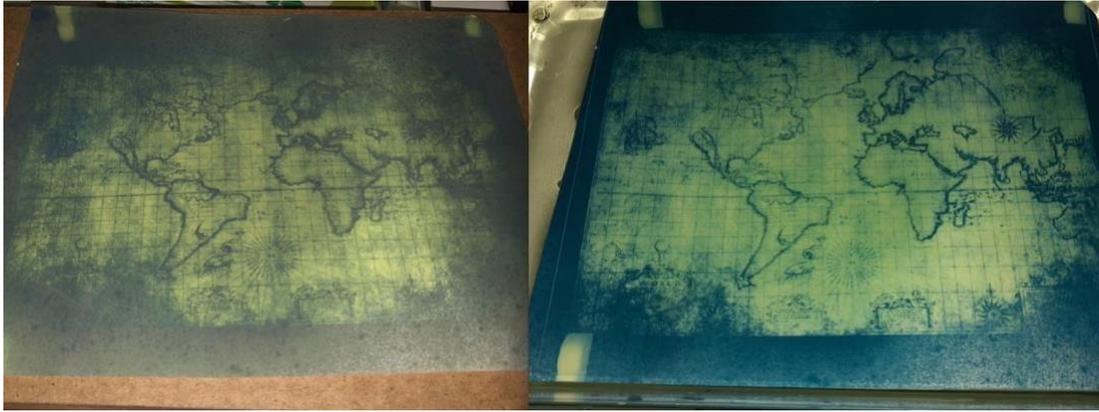
Cette étape est cruciale car elle va déterminer le rendu final de vos cyanotypes. Le but est dans un premier temps de retirer tout ce qui n'a pas réagi.

En effet, les zones sombres seront indemnes d'exposition, donc encore jaunes. Mais si on les laisse en état, en quelques minutes, tout le tirage sera bleu !

On va donc rincer les feuilles. Si vous vous souvenez de ce que j'avais écrit plus haut, le ferricyanure et le citrate sont très solubles dans l'eau, tandis que le Bleu de Prusse est insoluble en formant un précipité.

Par ailleurs, l'hydratation va transformer le blanc de Prusse en Bleu de Prusse, allant donc renforcer l'intensité du bleu :





Cette énorme différence de solubilité permet donc de séparer facilement les composés pour ne garder que le BP sur le papier.

Mais comme tout le BP n'est pas lié à la fibre, une bonne partie va partir avec l'eau de lavage. D'où la perte de densité.

On choisit en général de l'arrêter quand le blanc du papier a perdu sa teinte jaune-verte pour retrouver celle d'origine.

Le moment où l'on arrête est plutôt un choix personnel, qui se situe entre la quantité de BP que l'on perd (donc l'aspect fadasse) et ce que l'on accepte de voileage créé par le reste des réactifs qui réagiront par la suite (donc un genre de léger flou).

Exemple ici pour illustrer toute la complexité :

Le tirage du dessus est plus intense, il présente plus de détails dans les zones claires, mais les zones sombres manquent de détails.

Le tirage du dessous (mêmes paramètres de papier, exposition, etc, mais lavé plus longtemps), est plus clair, présente moins de détails dans les zones claires, mais plus dans les zones foncées :



Au final, ce sera votre patte qui transparaîtra dans vos œuvres 🤪



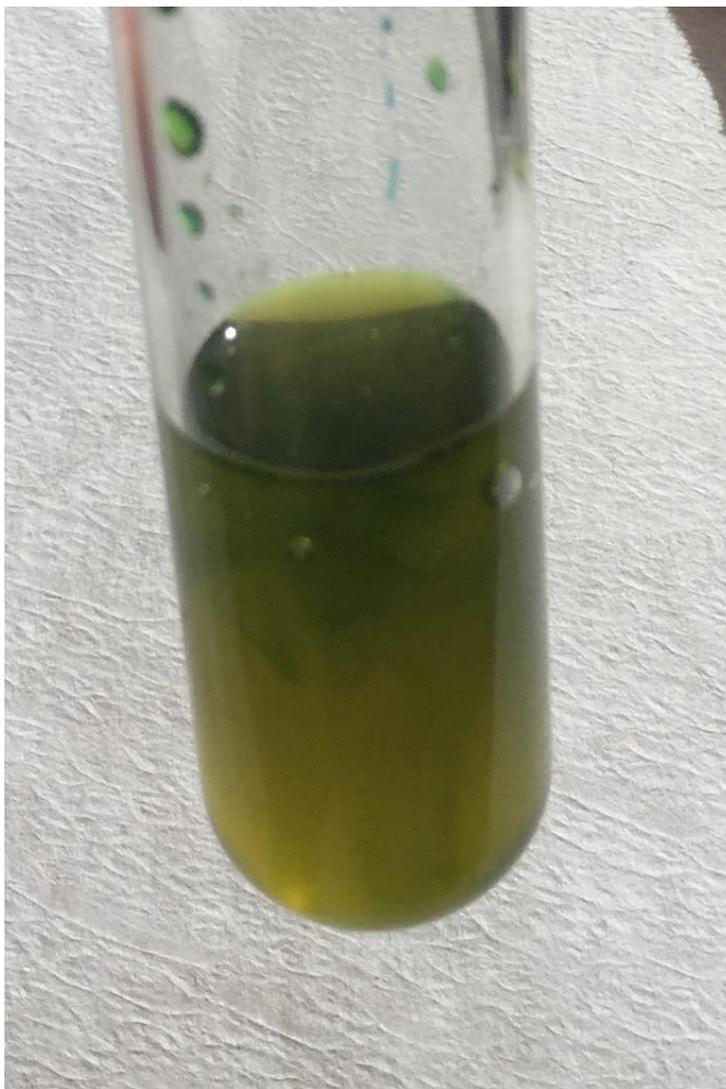
Les cyanotypes restent assez simples à maîtriser, mais présentent tellement de variations, de la concentration des solutions, à votre papier en passant par le lavage qu'ils seront tous uniques...le tout sans compter l'image en négatif peut être imprimée avec différents niveaux contrastes (les "dotgain"). Certains sont plus clairs, donc créeront des images plus foncées.

Et vice versa

Ceux que j'ai obtenus m'ont satisfait, mais feront sans doute hurler les pros habitués à de belles images homogènes...et une cuisine indemne de taches indélébiles. 🤪

## F) Les cyanotypes et le Bleu de Prusse solide

La technique des cyanotypes est que la réaction ne permet pas de "précipiter" de Bleu de Prusse pour obtenir un solide. Il reste donc sous forme colloïdale (en gros de l'encre) qui va passer au travers de la plupart des filtres et des fibres. Si on expose un flacon de solution C au soleil avec l'espoir de récupérer du BP, on se retrouve en fait avec un mélange comprenant soit du citrate de fer soit du ferricyanure (le réactif limitant) et du bleu de Prusse; bref un amalgame impur :



A la rigueur, cela pourrait convenir en "traitement d'urgence" mais avec tous les aléas possibles (et encore).

Le but des chapitres suivants sera d'utiliser la théorie du cyanotype, mais en appliquant quelques astuces de chimie qui permettront de produire du Bleu de Prusse solide.

Au niveau de l'expérience de ce chapitre, je la conseille à tous. Il y a un aspect quasi "magique" de pouvoir créer des photos à partir de négatifs.

## 5) Fabrication d'un composé ferrique

### A) Mise en garde de circonstance :

Ici place à peu de chimie avec quelques astuces un peu plus axées "prepper" 🤪

Nous allons fabriquer de superbes cristaux, aux multiples usages (médecine, agriculture, chimie, retour de l'être aimé, etc.) mais surtout permettant de synthétiser du Bleu de Prusse :



En effet, on peut trouver du Ferricyanure assez facilement sur les sites de cyanotypage ou dans les kits de chimie pour enfants, mais les cristaux purifiés en question dans ce chapitre sont un peu plus rares, voire réservés aux professionnels sur internet.

**Nous allons créer des cristaux avec des produits d'usage courant. Ni moi ni le forum ne pourront être tenus responsables en cas d'accident ou de dommages; ceci n'est qu'à but strictement informatif.**

**L'acide ça brûle et ronge pas mal de choses, le sulfate ça irrite, etc...**

**Il est par ailleurs important de bien séparer cette expérience de tout ce qui concerne le bleu de Prusse, car l'acide manipulé peut réagir avec. Donc bureau propre (voire extérieur), ventilé, à l'écart de tout dont les enfants !**

## B) Le Sulfate de Fer II

Dans le process de fabrication du Bleu de Prusse, nous avons vu qu'il nous fallait :

- du **ferricyanure de potassium**, que l'on trouve dans des kits de chimie, et dans les kits de cyanotypes.
- ainsi qu'un composé capable de produire du fer **Fe<sub>2+</sub>** en solution.

Il nous faut donc un composé du type Fe<sub>2+</sub> mélangé à autre chose, comme par exemple du Chlorure de Fer II (FeCl<sub>2</sub>), du Sulfate de Fer II (FeSO<sub>4</sub>), de l'Acétate de Fer II (Fe(C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>)<sub>2</sub>).

A chaque fois, le fer est dit "ferreux", c'est à dire qu'en solution il lui manque deux électrons sur sa couche externe, pour former l'ion Fe<sub>2+</sub>.

J'ai testé pas mal de composés, le plus simple, le plus DIY et accessible au fond de la brousse me semble le Sulfate de Fer II FeSO<sub>4</sub>. Le chapitre d'aujourd'hui va consister à préparer ce dernier.

Notons qu'il s'agit d'un produit d'usage très courant, que l'on retrouve facilement dans les magasins de bricolage, pour le traitement de la mousse, en tant qu'engrais, que complément alimentaire, etc.

A l'extrême limite, il serait possible d'utiliser ce produit, mais comme avec tous les produits de droguerie, il est impossible de connaître son degré de pureté, en général entre 80% et 99%. Il y a alors un risque de réactions parasites. Dans une certaine mesure, il est possible de purifier un peu le sulfate de fer que l'on trouve dans les magasins de bricolage

avec un tuto détaillé plus bas. 😊

En toute théorie, l'ensemble du tuto pourrait autoriser des produits impurs car le Bleu de Prusse final est un précipité ferrique, donc laissant en solution les impuretés, mais dans le doute....

Dans ce tuto, avec des produits de base et surtout des étapes de cristallisation, nous obtiendrons des cristaux d'une très grande pureté. Pour les chimistes, il s'agira de Sulfate de fer II heptahydraté (cristal vert contenant de l'eau), de formule FeSO<sub>4</sub> · 7 H<sub>2</sub>O. Le sulfate pur étant un solide blanc.

### 1) Ingrédients

Il vous faut :

- de l'**acide sulfurique** (neuf) de batterie de voiture, à plus ou moins 30% (cela n'a pas important) : environ 100mL (0,1L)

- quelques dizaines de **grammes de fer** ou d'acier : la pire qualité qui rouille de partout serait la meilleure, car les alliages avec autre chose que du fer (nickel, manganèse) ont un coût supplémentaire. L'idéal serait du fer pur, ou de l'acier ne contenant que du fer et du carbone (voir plus bas).

- de l'eau distillée : perso j'ai utilisé de l'eau déminéralisée pour fer à repasser sans aucun problème. Au pire de l'eau de pluie filtrée ou de l'eau en bouteille très faiblement minéralisée.

### 2) Ustensiles :

- des récipients en **plastique ou en verre** : l'expérience se déroulant à froid, cela n'a pas d'importance. Évidemment, pas d'ustensiles en métal.
- du **filtre**, à café ça fait l'affaire.

Bien que dans la pratique, certains s'en passeront :

### 3) En protection :

- lunettes de chimiste
- blouse
- gants,
- masque respiratoire, principalement à cause de l'acide sulfurique.

## C) La réaction

La réaction va être assez simple : il va s'agir d'attaquer le fer Fe solide avec de l'acide sulfurique en solution, qui libère des ions H<sup>+</sup> (mêlés à des ions "spectateurs SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

Il va y avoir un dégagement de dihydrogène (gazeux) tandis que le Fer va former des ions **Fe<sub>2+</sub>** (solution).

Les morceaux de Fer vont donc progressivement disparaître.

**L'équation de réaction est :**



En solution, il y aura donc de moins en moins d'ions H<sup>+</sup>, donc d'acide, et de plus en plus d'ions **Fe<sub>2+</sub>** ; le sulfate SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> restant en solution.

Cela forme une solution de Sulfate de Fer II (**le II signifie "2" car le Fer a perdu 2 électrons : Fe<sub>2+</sub>**).

Quand l'eau s'évapore, la solution se concentre de plus en plus, si bien que l'on dépasse à un moment la solubilité du Sulfate de Fer II, il va alors cristalliser comme le chlorure de sodium formant le sel dans les marais salants.

### 1) La pureté du Fer

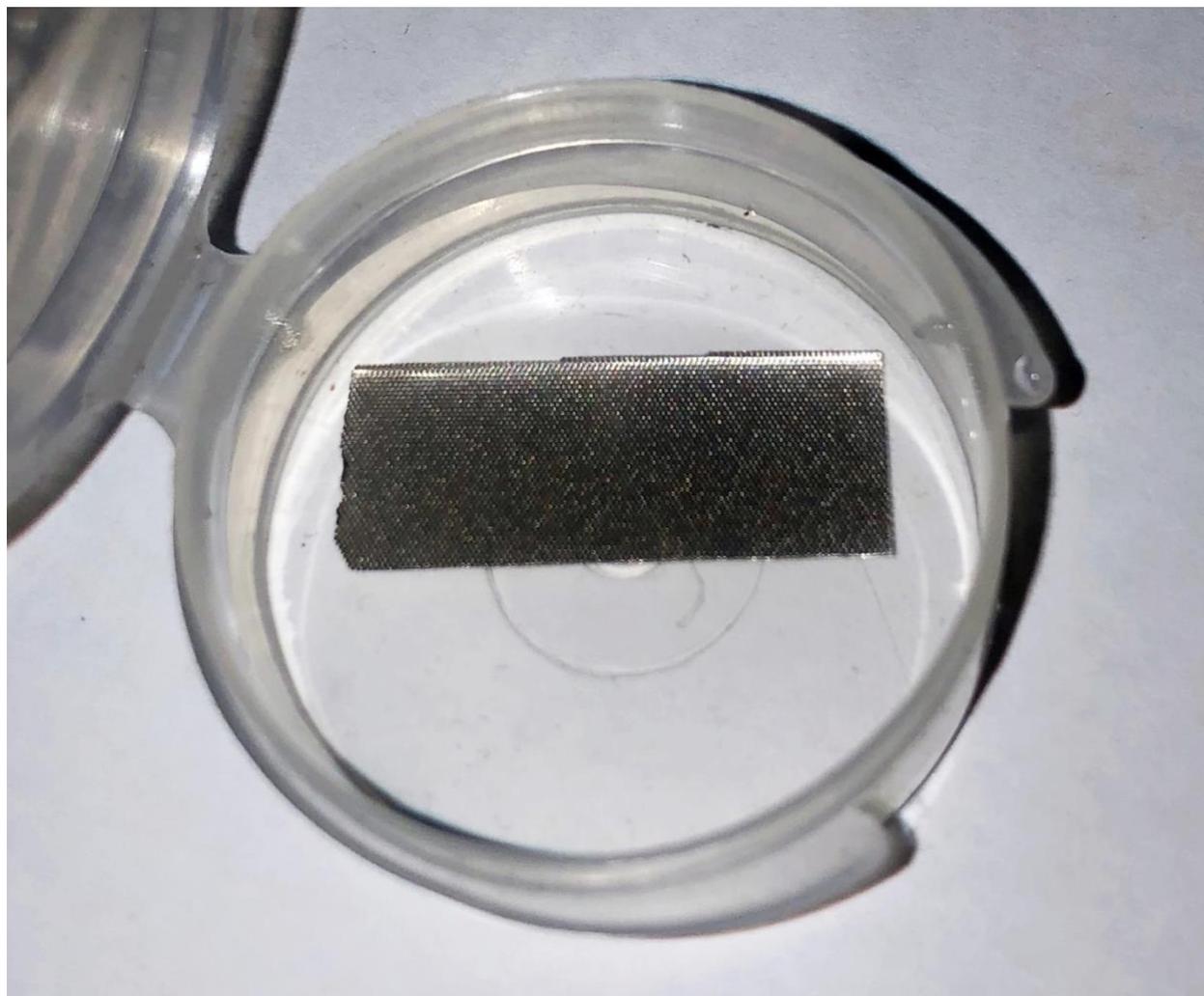
Plaque de fer, ou d'acier. Il ne faut pas d'inox, qui de toute façon va avoir du mal à être attaqué, juste le fer avec le moins de mélanges possible. Plus ça rouille, mieux c'est 😊

Il y a du fer de coutellerie quasi-pur, mais d'un point de vue "chimie", de l'acier ordinaire devrait suffire.

Dans les faits, l'acier usuel risque d'être contaminé par trois autres composés principaux :

- du **carbone** : il ne va pas réagir et laisser une poudre noire que l'on va filtrer.
- du **nickel**. Mais ce métal n'est quasiment pas attaqué par l'acide dilué. Il faudrait ajouter un oxydant : eau oxygénée et chauffer assez fort. Il va donc rester sous forme solide.

J'ai testé en laissant une grille de nickel dans de l'acide sulfurique pendant une semaine : il n'y a eu aucune réaction :

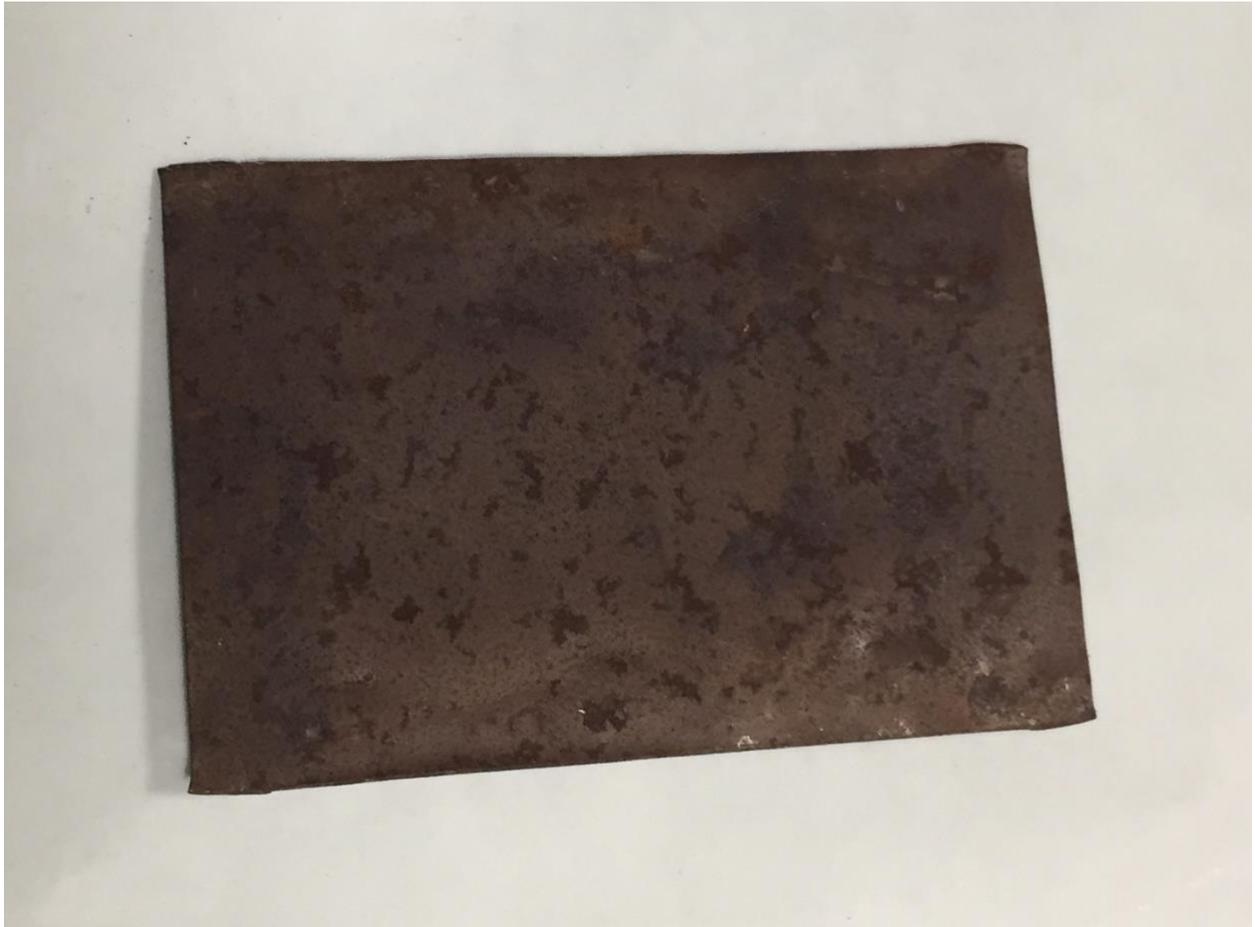


- du **manganèse** : de loin celui qui potentiellement pourrait également former du sulfate de manganèse. S'il est présent, nous l'éliminerons avec l'étape finale de cristallisation.

Dans l'acide on pourra trouver quelques composés parasites, mais en général très peu solubles. Ils seront donc facilement filtrés, puis éliminés lors de la cristallisation.

### **1) La préparation des plaques de fer**

La plaque de fer utilisée vient de mémoire d'une tôle de magasin de bricolage :



Je l'ai découpée en petits morceaux :

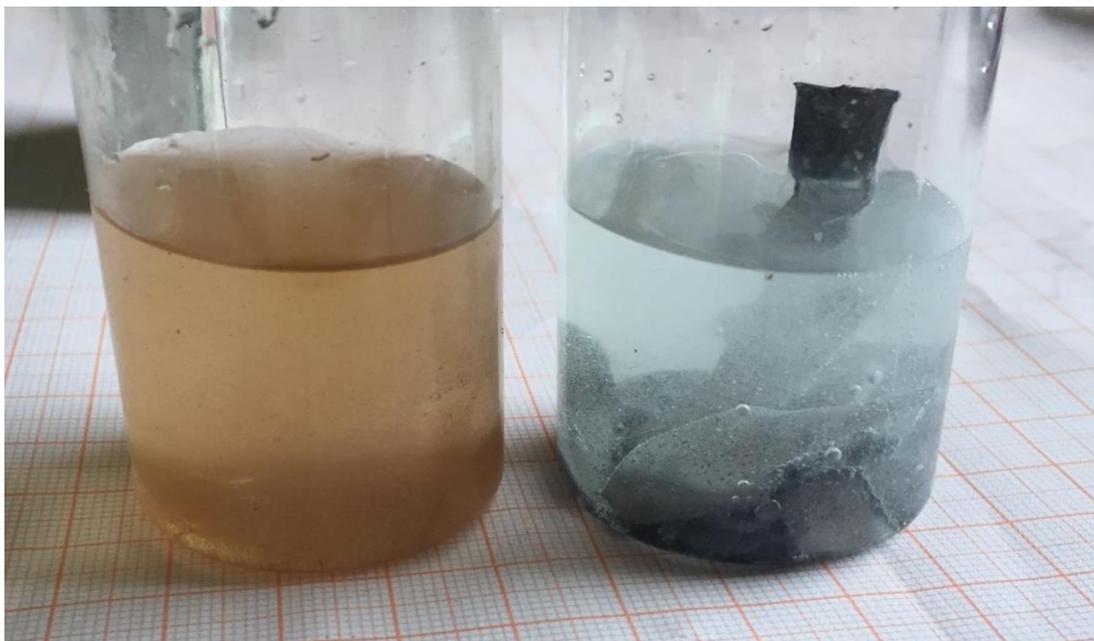


### Décapage :

Le fer est couvert d'oxyde de fer, c'est à dire de rouille. Au contact de l'acide, cela reformera du sulfate de fer, mais afin d'accélérer le process, d'avoir un produit final aussi pur que possible et d'éviter les éventuelles réactions parasites, je décape un coup à l'acide :

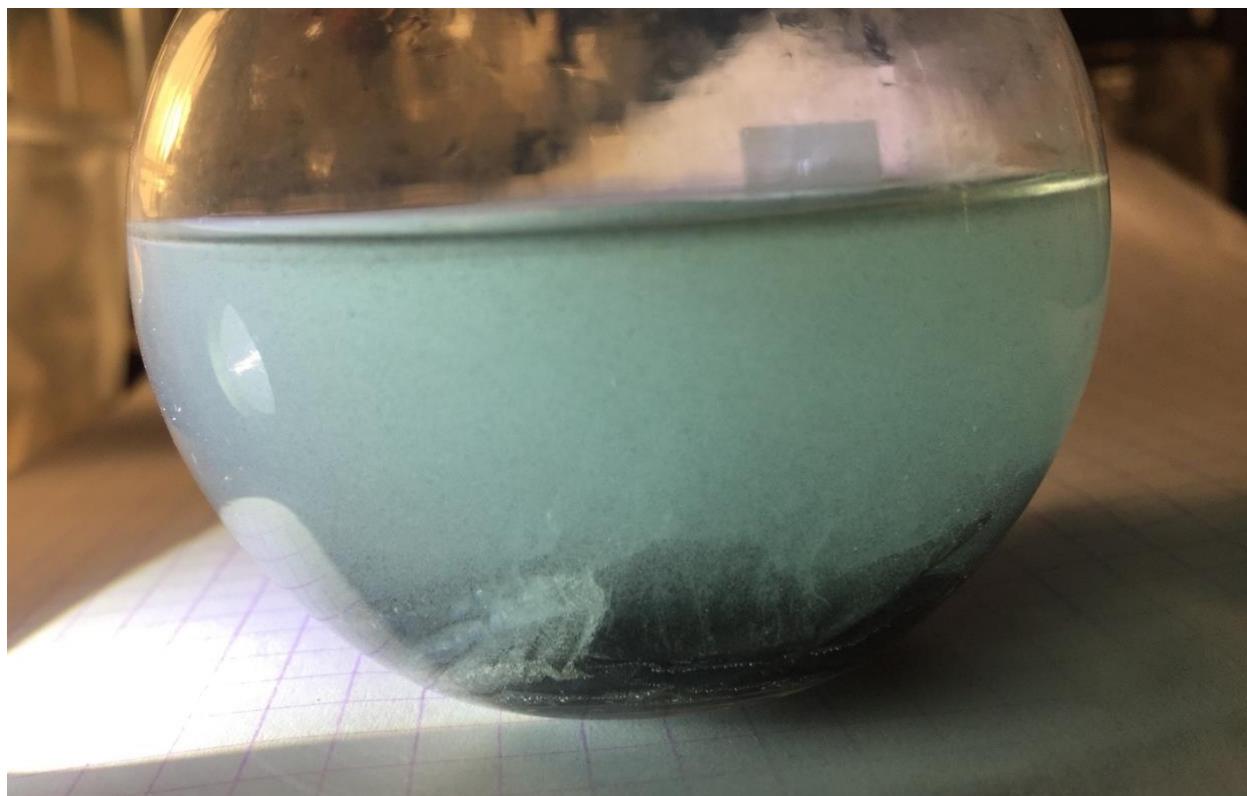


A gauche, la solution G, après avoir retiré les plaques, que l'on replonge dans l'acide sulfurique dans la solution D à droite. J'ai filtré G pour récupérer l'acide et l'ajouter à D.



## 2) Attaque du Fer par l'acide

On laisse l'acide attaquer le fer, à température ambiante, **sans jamais chauffer** !  
On admire le dégagement de dihydrogène, tandis que la solution se colore en vert à cause du sulfate de fer qui se forme :



Il est possible d'ajouter un ballon afin de collecter le dihydrogène. Il n'y aura que quelques cL, mais c'est surtout pour éviter que des micro-gouttelettes d'acide puissent également se disperser avec le gaz et pour confiner l'odeur. Il n'y a pas vraiment de danger, mais les gouttelettes peuvent faire rouiller les ustensiles métalliques à proximité si on laisse l'expérience durer plusieurs jours.

### 3) Premiers cristaux et dissolution

On voit assez rapidement des cristaux se former, car la concentration en sulfate de fer augmente au point de dépasser sa solubilité : environ 300g/L. Cependant, les cristaux sont un peu grisâtres, à cause des inclusions de carbone provenant de l'acier :

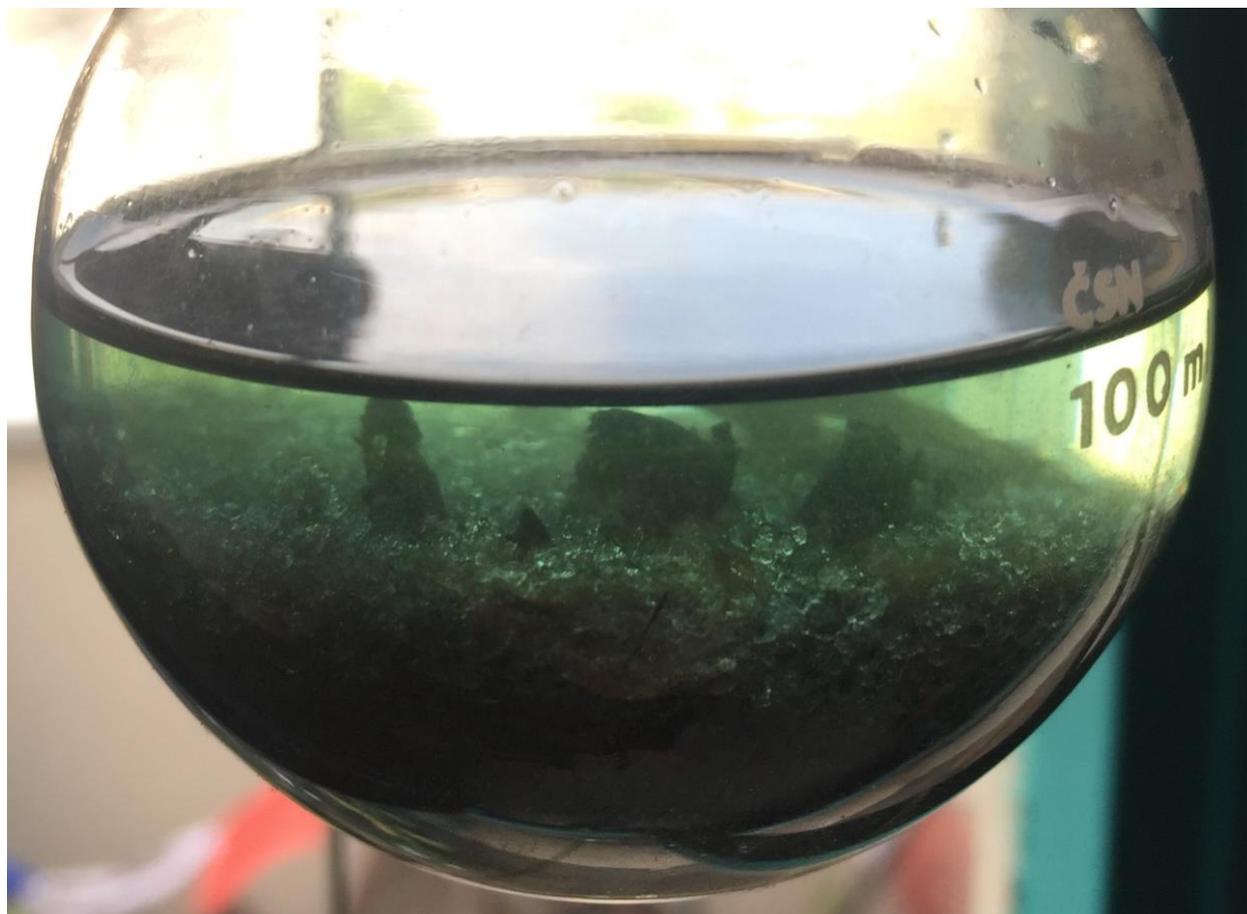


Quand on retire les plaques couvertes de cristaux :



Nous allons retirer le carbone du mélange. Comme il est sous forme solide, on va tout simplement filtrer la solution. **Mais pour ne pas filtrer les cristaux au passage, il faut les dissoudre. Il suffit d'ajouter de l'eau**, mais pas trop, car on va réduire l'acidité de la solution.

Il faut donc ajouter de l'eau **lentement tout en** remuant (sans chauffer!) jusqu'à disparition des cristaux.



#### 4) Filtration au filtre à café :



Il reste alors le carbone de l'acier, et les autres métaux éventuels qui n'ont pas réagi avec l'acide :



Différence entre les deux solutions :  
A gauche le sulfate de fer filtré, à droite avant filtration :



On replonge ensuite de fer dans la solution filtrée (encore acide) pour revenir à l'étape de l'attaque du fer par l'acide.

On procède ainsi plusieurs fois jusqu'à dissolution complète du fer... ou lorsque vous jugez avoir assez de sulfate. Perso j'ai un peu arrêté avant la fin afin d'écourter un peu le tuto 🤔

## **A) De la solution au cristal**

### **1) La recristallisation**

La dernière solution filtrée ne contiendra que du sulfate de fer et ce qu'il reste d'acide sulfurique (Attention donc, c'est toujours un peu acide), et potentiellement du sulfate de manganèse en de très faibles proportions.

Personnellement, je n'ai pas réussi à détecter ce composé, notamment en éliminant le sulfate de fer, puis en cristallisant le reste. Mais dans le doute, et dans le cadre d'une fabrication avec un acier inconnu, nous allons utiliser la méthode purification par cristallisation :

#### **Pour résumer :**

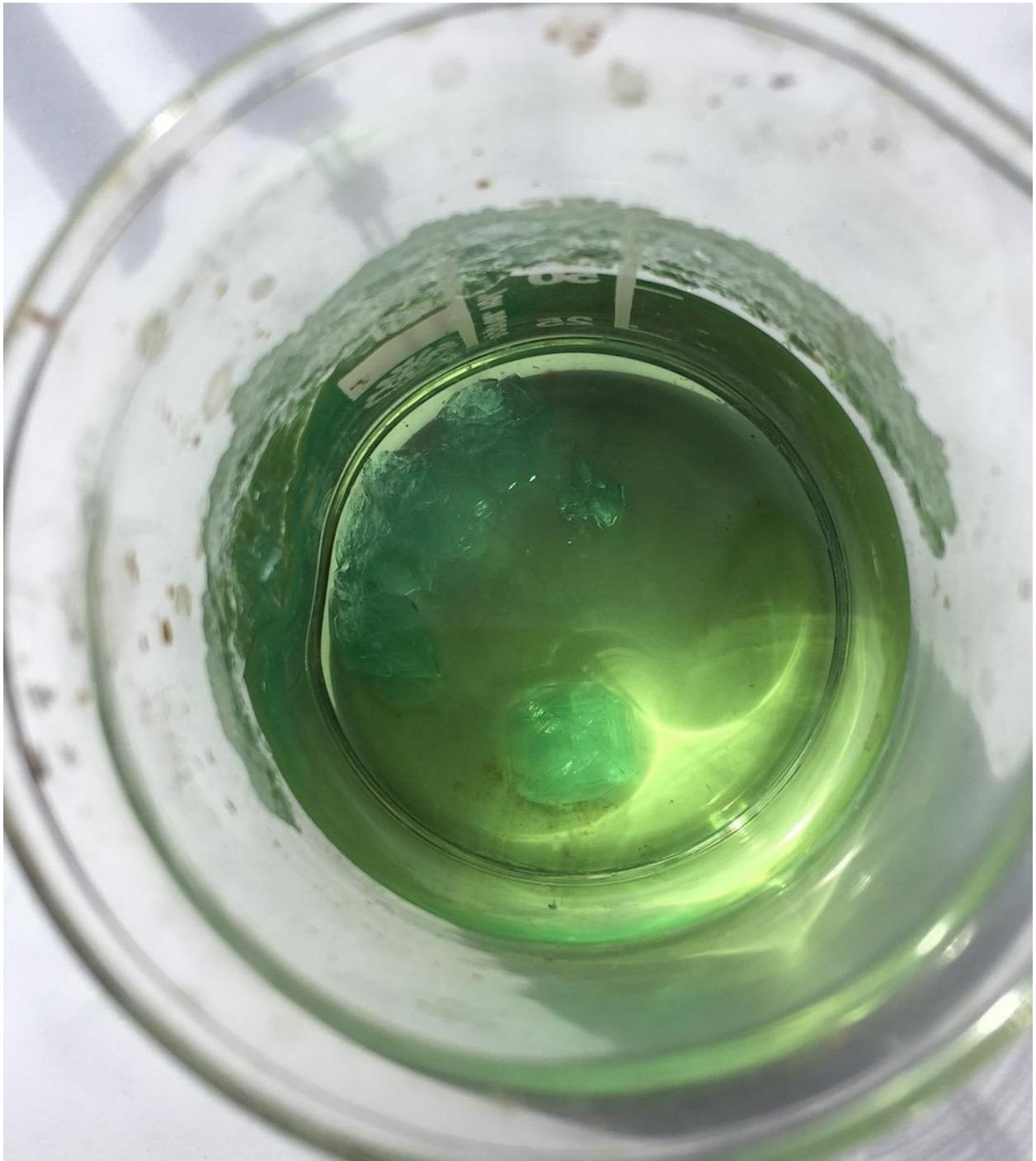
- le Sulfate de Fer II a une solubilité dans l'eau d'environ 300g par litre à 25°C
- le Sulfate de Manganèse II a une solubilité d'environ 520g par litre à 25°C.

Donc en faisant évaporer lentement la solution, le premier composé à cristalliser sera le sulfate de fer. Cela va former des cristaux d'une grande pureté car les composés auront la possibilité de s'assembler de manière ordonnée.

Pour cela, il suffit de laisser la solution à évaporer dans un récipient assez large, et couvert d'une grille pour éviter la poussière.

A noter que cette méthode peut être utilisée pour purifier du Sulfate de fer à partir d'un bidon acheté au rayon jardinage. Mais je ne pourrais pas vous affirmer que les cristaux finaux seront extra-purs car le produit du commerce peut avoir des centaines de contaminants hétérogènes.

**1) Au bout d'un jour :**



Au bout de deux jours :



A la pesée :



En macro : de jolis cristaux verts :



### **B) La conservation des cristaux**

Je conseille de stocker ces cristaux dans un contenant étanche immergé dans la solution de sulfate de fer acide, afin d'éviter l'oxydation avec le dioxygène de l'air.

Cette oxydation va se manifester par l'apparition de zones jaunes-orangées, correspondant à d'autres états d'oxydation du fer.

Ce n'est pas grave, et peut être réversible en ajoutant quelques gouttes d'acide sulfurique.

## C) Ce qu'il ne faut pas faire !

### 1) Ne pas chauffer lors de l'attaque.

Bien que cela soit très tentant, il ne faut pas chauffer le mélange (ici  $>80^{\circ}\text{C}$ ). Cela accélère évidemment la réaction, mais cela va créer des oxydes de fer qui ne sont pas souhaités. La cristallisation va en conséquence être un mix de rouille et de sulfate :



Mais surtout, l'acide peut devenir gazeux, faire des projections et répandre une odeur nauséabonde.

## 2) Ne pas chauffer lors de la dissolution

Je conseille de dissoudre les cristaux en ajoutant de l'eau distillée. Ici aussi, un chauffage même léger ( $60^{\circ}\text{C}$ ) va augmenter la solubilité du sulfate de fer **et créer une solution saturée**. Le sulfate va se resolidifier aussitôt au contact des parois froides des récipients, du filtre, etc... donc boucher l'ensemble.



### 3) Ne pas chauffer pour la recristallisation

Il ne faut pas chauffer non plus lors de la cristallisation par évaporation pour obtenir plus rapidement les cristaux, pour la même raison. Ici à gauche les cristaux obtenus par chauffage, à droite par évaporation naturelle



Donc la règle d'or ici est la patience. L'expérience d'attaque à l'acide prend quelques heures, selon la masse du fer et la température ambiante. La cristallisation prendra quelques jours.

## 6) Fabrication du Bleu de Prusse

Suite et fin du tuto sur la fabrication du Bleu de Prusse.

### A) Introduction

Ce sera en fait le chapitre le plus simple de l'ensemble du topic. Donc pour peu que vous ayez de côté les deux ingrédients, la manip se résumera à quelques étapes du type "dissoudre et mélanger des cristaux rouges avec les cristaux verts, et obtenir une belle poudre bleue" 😊

#### 1) Ingrédients

Il vous faut :

- du **ferricyanure de potassium**; pour rappel c'est un composé qui se présente sous forme de cristaux rouges, tandis que le Ferrocyanure est une poudre blanche.



- De l'**eau distillée** : à nouveau, j'ai utilisé de l'eau déminéralisée pour fer à repasser sans aucun problème. Au pire de l'eau de pluie filtrée ou de l'eau en bouteille très faiblement minéralisée.

- Vos cristaux de **sulfate de fer** purifiés du chapitre précédent.



## 2) Matériel :

- des **flacons** en verre ou en plastique,
- un **entonnoir**
- du **papier filtre**. Ici à café. Le plus fin est le meilleur, quitte à rendre la filtration un peu plus lente.
- une **balance** : c'est facultatif car on procède par excès.
- une **pipette** :



## B) La dissolution des réactifs

### 1) Solution de Ferricyanure de potassium

On va donc préparer **une solution A de Ferricyanure de potassium**, tout comme on l'avait déjà vu lors de la fabrication des cyanotypes, en dissolvant notre poudre dans de l'eau.

Ici, toujours 6g pour 50mL : à noter que les quantités ne sont pas critiques. L'essentiel étant que tous les cristaux soient bien dissouts :



### 2) Solution de Sulfate de fer

C'est la même chose avec le Sulfate de fer pour former la solution B : de mémoire 6g pour 100mL. On remarque que la solution se teinte légèrement de bleu et change un peu de densité



Animation Gif ici : <http://oldu.fr/images/Articles/Dissolution%20Fer.gif>

### 3) Nota Bene

On passe par les cristaux de Sulfate de Fer d'une part pour utiliser une forme purifiée (cf chapitre précédent), mais aussi pour ne pas acidifier la solution de sulfate de fer avec l'acide sulfurique qui avait servi à fabriquer les cristaux. Sommairement, c'est une petite mesure de sécurité sur l'ensemble du protocole.

S'il y a des résidus après dissolution, alors il faut filtrer ces solutions pour n'avoir que du liquide. Vu les quantités, c'est signe soit que les composés sont impurs, soit que l'eau est très froide. Dans ce cas il faut attendre encore un peu.

### C) La réaction par excès d'ions Fer

Maintenant, comme nous l'avions vu avec les cyanotypes, **le Bleu de Prusse solide (un précipité) ne se forme que si les ions fer en solution sont présents en excès.**

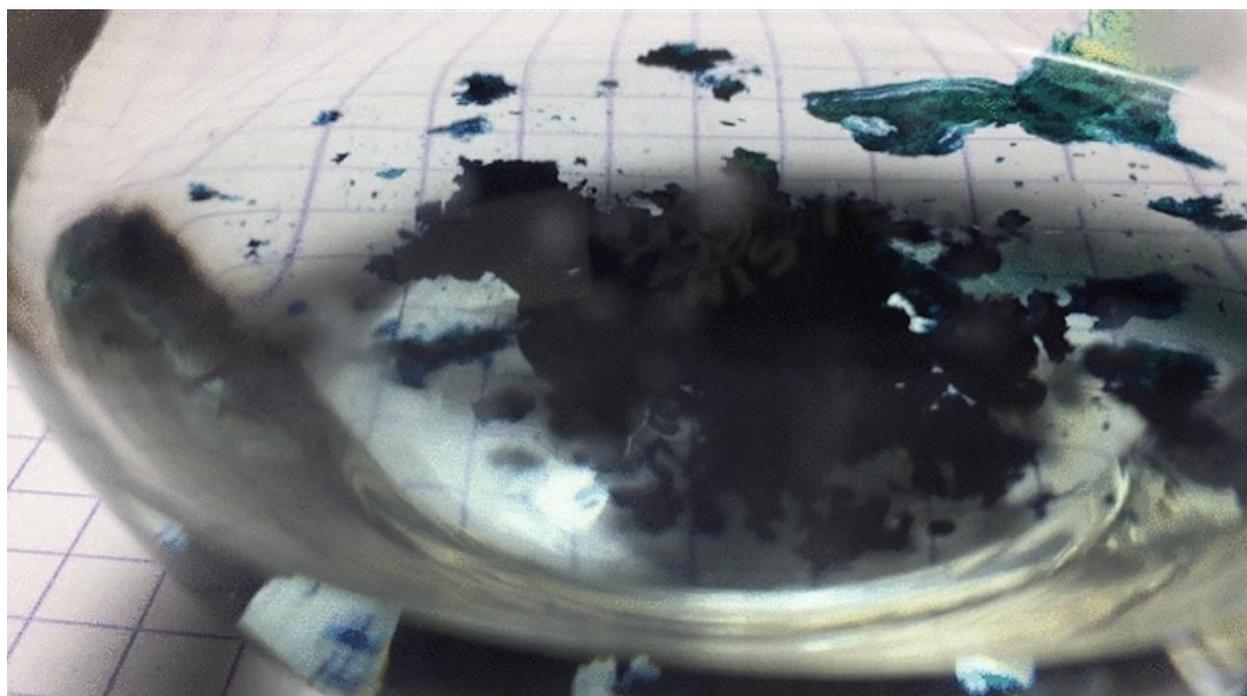
C'est pour cela que la réaction des cyanotypes ne crée qu'un mélange **colloïdal** : les ions fer sont produits en petite quantité au fur et à mesure de l'insolation du citrate de fer. Le ferricyanure est présent en excès.

**Ici, on va donc inverser le protocole :**

On va introduire en petite quantité, avec **une pipette** le ferricyanure de potassium dans la solution de Sulfate de fer, donc avec des ions fer en excès par rapport au Ferricyanure.

De cette manière, les deux composés vont réagir pour former du Bleu de Prusse. En présence des ions Fer en solution, ce BP va instantanément précipiter; c'est à dire qu'il va devenir solide et tomber au fond de la solution :

Donc pour résumer, on va déposer dans la solution B des gouttes de solution A avec une pipette



## D) La Filtration

### 1) Un peu de vocabulaire

Comme le Bleu de Prusse est solide, il pourra être retenu par un filtre. Nous allons donc le séparer avec un filtre à café dans un entonnoir, tout en recueillant la solution de sulfate de fer.

Le Bleu de Prusse va rester dans le "**rétenant**" (sur le filtre) tandis que tous les autres composés, solubles, vont rester en solution dans le "**filtrat**".



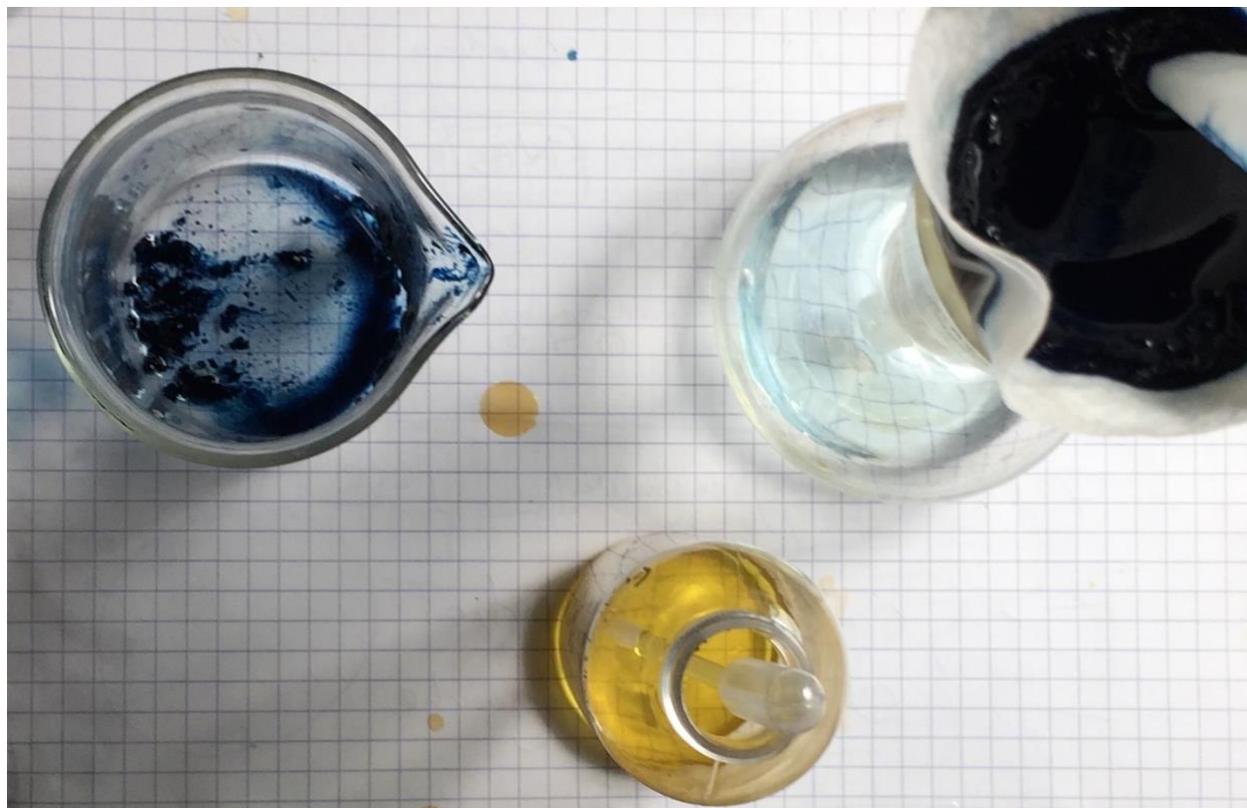
C'est pour cela qu'il est important que les composés soient bien dissouts, sinon ils vont être retenus par le filtre avec le BP !

De cette manière, la BP formé va être d'une bonne pureté.

### 2) Un Cycle de synthèse suivie de filtration

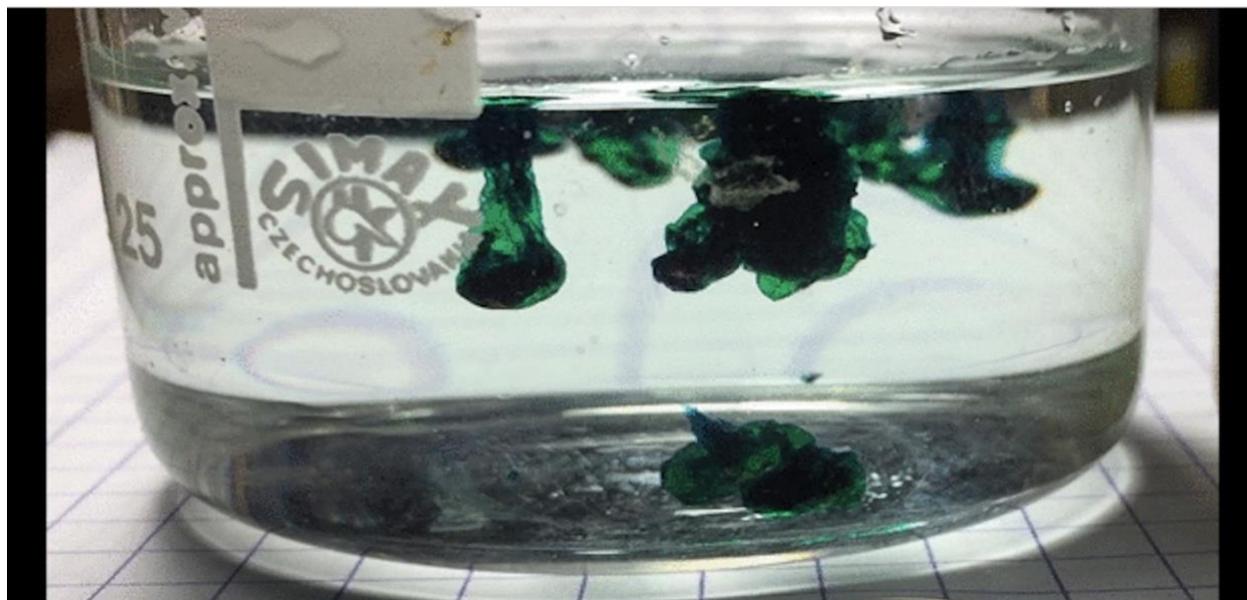
Comme il faut **toujours maintenir un excès de sulfate de fer**, on ne va pas mélanger d'un coup les deux solutions. **Au contraire, on va extraire au fur et à mesure le BP par filtration** : dès que l'on a le fond couvert de BP.

On remarque ici que le BP reste dans le filtre, tandis que la solution (le filtrat) redevient transparente :



### 3) Arrêt de l'expérience

On peut considérer l'expérience terminée quand le BP commence à prendre une teinte légèrement verte, signalant que le ferricyanure n'est pas intégralement transformé :



Animation gif ici : <http://oldu.fr/images/Articles/Bleu%20de%20Prusse.gif>

En secouant un peu, il va se dissoudre et repartir en solution ; le BP va précipiter par la suite. Soit on arrête là, soit on re-dissout du sulfate de fer.

#### 4) Petite astuce : la décantation

Chaque étape de filtrage va "consommer" un peu de solution de sulfate de fer car le papier filtre va en absorber un peu à chaque fois. Il est possible de réduire cette perte en laissant un peu le BP **décanter** puis en transvasant la partie claire :



### E) La purification post-synthèse.

#### 1) Les dernières impuretés

Comme le BP sur le filtre est récupéré avec un peu de solution, le séchage va également contenir un peu de ferricyanure et de sulfates.

#### 2) Purification par lavage

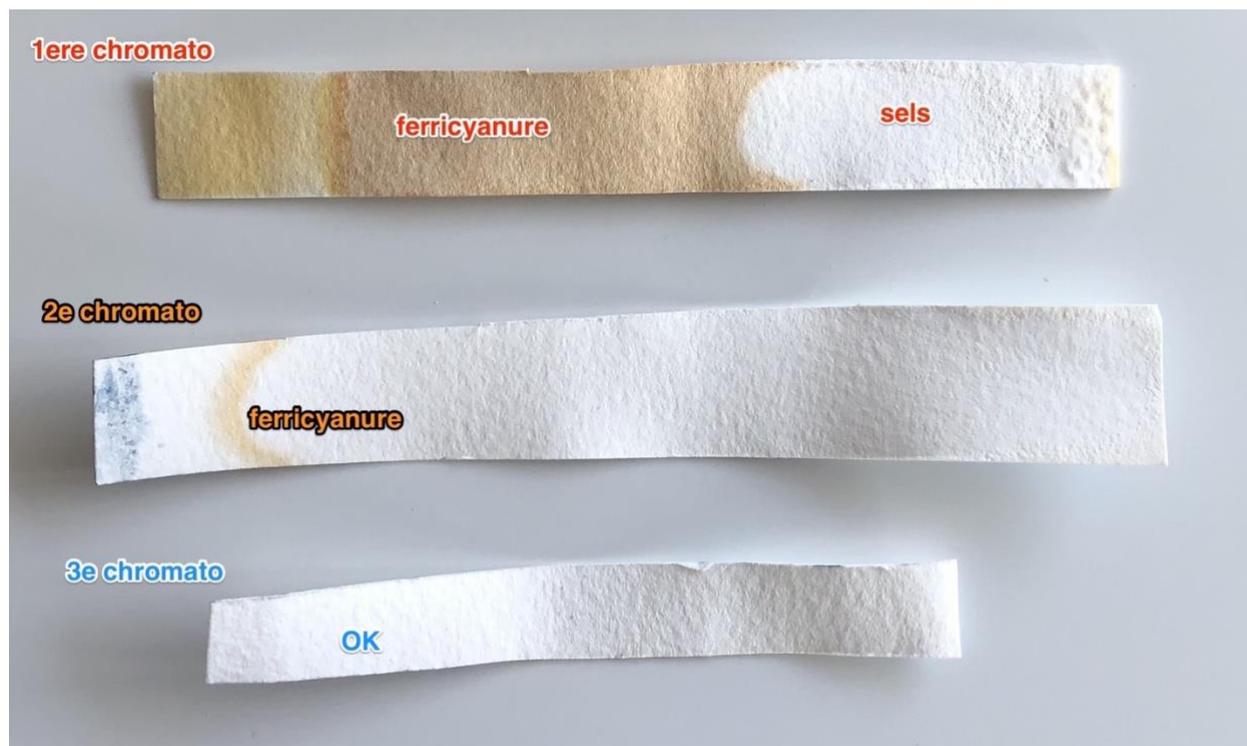
Tous ces composés non souhaités sont très solubles dans l'eau, mais pas le BP : on va donc mélanger toute la poudre de BP récoltée dans quelques dizaines de mL d'eau, puis re-filtrer tout ça. Il ne restera sur le filtre plus que du BP, le reste étant reparti en solution.

Un extrémophile pourra réaliser ce process plusieurs fois afin d'assurer une conservation au long terme (les autres composés sont hygroscopiques), quitte à perdre un petit peu de BP à chaque filtration, car d'une part le filtre va en absorber un peu dans ses fibres, mais d'autre part le Bleu de Prusse est tout de même faiblement soluble dans l'eau, avec environ 6g par litre.

Il y a donc des petites pertes de ci de là.

### 3) Test de pureté par chromatographie

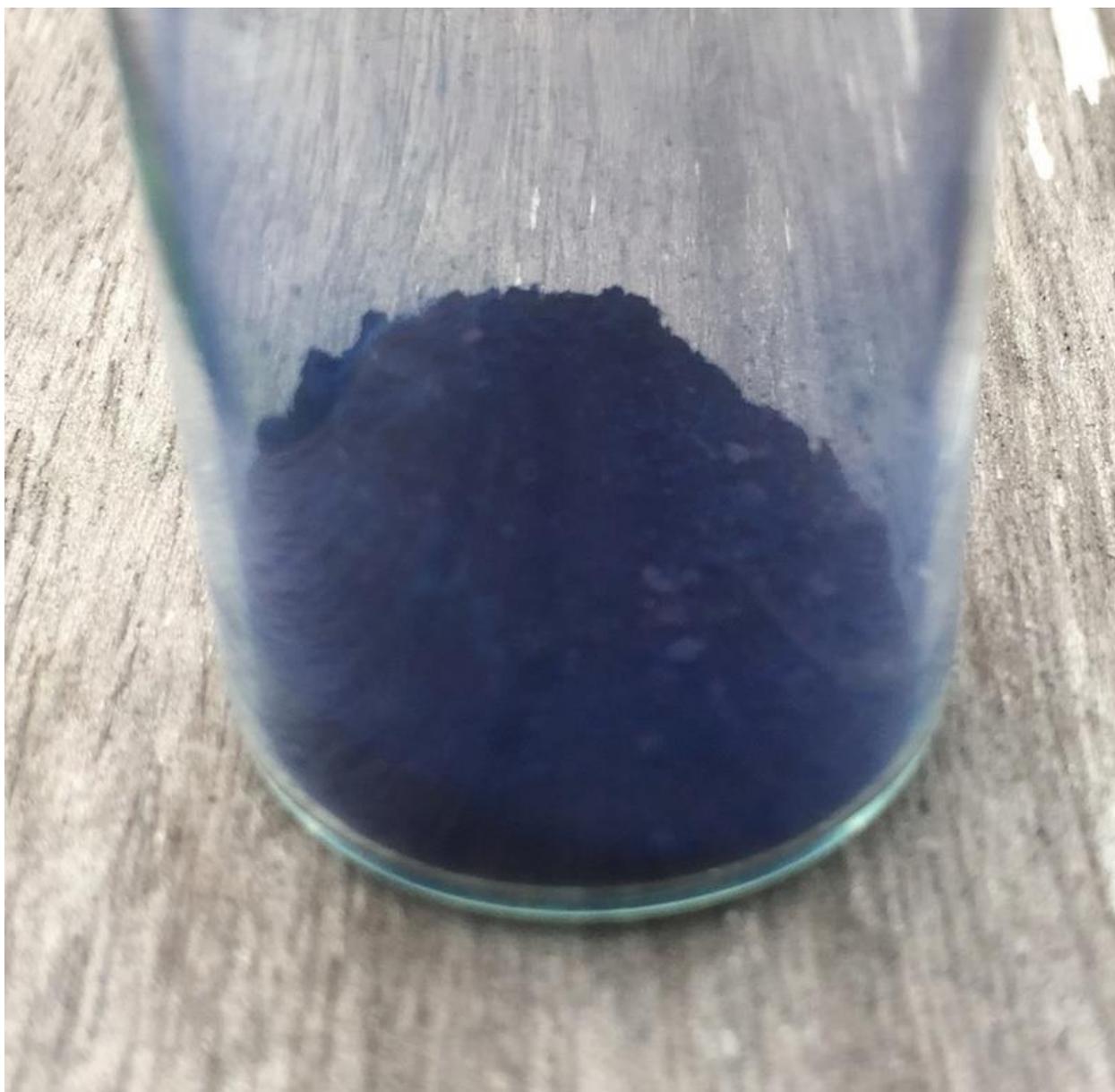
Dans ce but, j'ai réalisé plusieurs **chromatographies**, afin de mettre en évidence les résidus présents dans **l'eau de lavage** des purifications successives. C'est un test très simple : on trempe une bandelette absorbante. Le liquide va être absorbé et les composés qu'ils contient vont migrer à des vitesses et des hauteurs différentes. Cela permet en général de distinguer différents composés d'un mélange.



On obtient après séchage notre beau Bleu de Prusse :



A conserver dans un flacon à l'abri usuel de l'humidité, la lumière et la chaleur, bien que le Bleu de Prusse soit très stable.



Fin du tuto. J'espère que l'ensemble est compréhensible, et surtout réutilisable. N'hésitez pas si vous avez des questions, même les plus simples, à participer ici.

Bonne synthèse à tous !