

# Les jeux proposés ici ont été créés à l'occasion de la FDS2023 (Soustons)



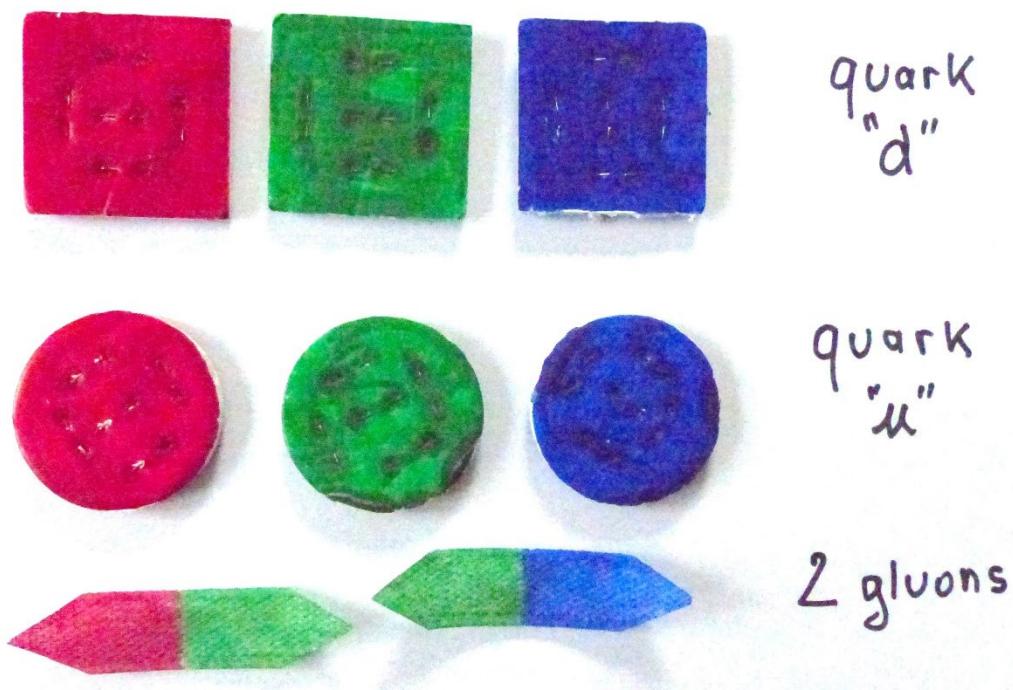
## Activité 1 : La soupe

Nous partons de la situation où tous les objets présents dans l'Univers ne peuvent pas se rassembler afin de former de premières structures car la température y est trop élevée ; au-delà de 10 000 000 000 000 °. C'est le chaos : « la soupe ».

On utilise l'image des « trois petits cochons » : ils désirent construire une maison mais le souffle du loup la détruit. Ici ce souffle est celui de la chaleur, les objets présents ne peuvent pas former de structure organisée.

On présente aux participants différents objets qui représentent les « quarks » et les « gluons ».

- les « quarks » sont de deux types appelés « up » (disques recouverts de velcro-velours) et « down » (carrés recouverts également de velcro-velours).
- les « gluons » représentés par des bandes de velcro-crochets



Représentation des quarks « down » (en haut), « up » (au milieu) et de 2 gluons. La réalisation de ces objets est expliquée dans la suite de ce document.

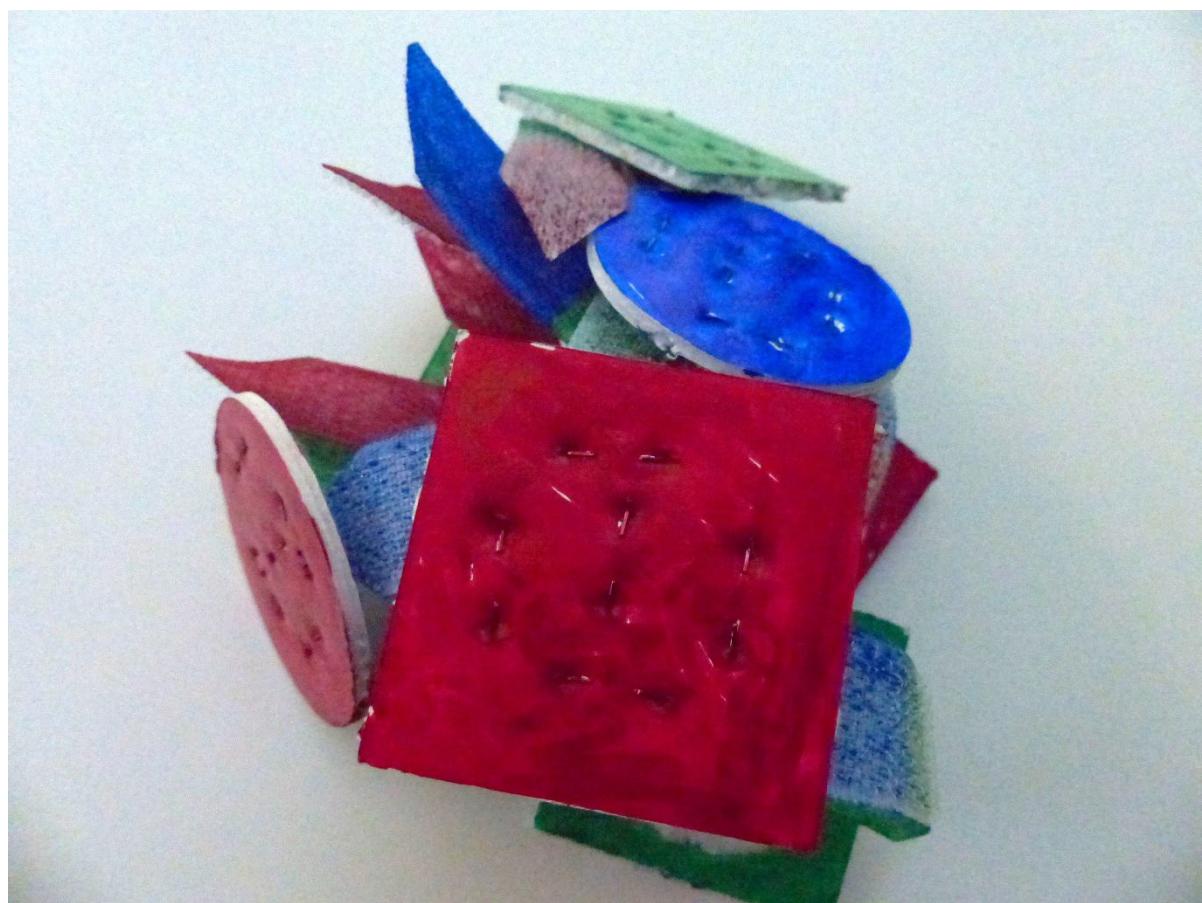
Ces objets sont mis pêle-mêle, par les participants, dans un récipient qui représente le bébé-Univers. Le récipient est fermé et chaque participant l'agit, tour à tour, vigoureusement.



Les participants agitent (vigoureusement) le bébé-Univers contenant des quarks et des gluons (FDS2023, Soustons).



On ouvre le récipient et il doit en sortir un assemblage désordonné de quarks et de gluons reliés les uns aux autres.



Voici le résultat de l'agitation dans une boîte (bébé Univers) d'un mélange de quarks et de gluons. : un « tas » désordonné avec des gluons reliés aux quarks. (pour les physiciens : désolé mais ici les gluons ne peuvent pas s'attacher entre eux).

## Activité 2 : jeu « De la soupe, aux noyaux. »



Les participants « construisent » des protons et des neutrons en suivant les règles distribuées



Les participants, défont ce paquet et rassemblent séparément, les quarks « up », les quarks « down » et les « gluons ».

- chacun va alors réaliser les premiers édifices créés dans l'Univers en suivant les « règles de l'interaction forte ».
- chaque objet est formé de 3 quarks et de 3 gluons.
- les quarks sont colorés : rouge, bleu et vert. Chacun doit avoir une couleur différente.
- les gluons sont également colorés, mais avec deux couleurs ; rouge-bleu, rouge-vert et bleu-vert. Par exemple, le gluon « bleu-vert » va lier le quark bleu au quark vert et ainsi de suite

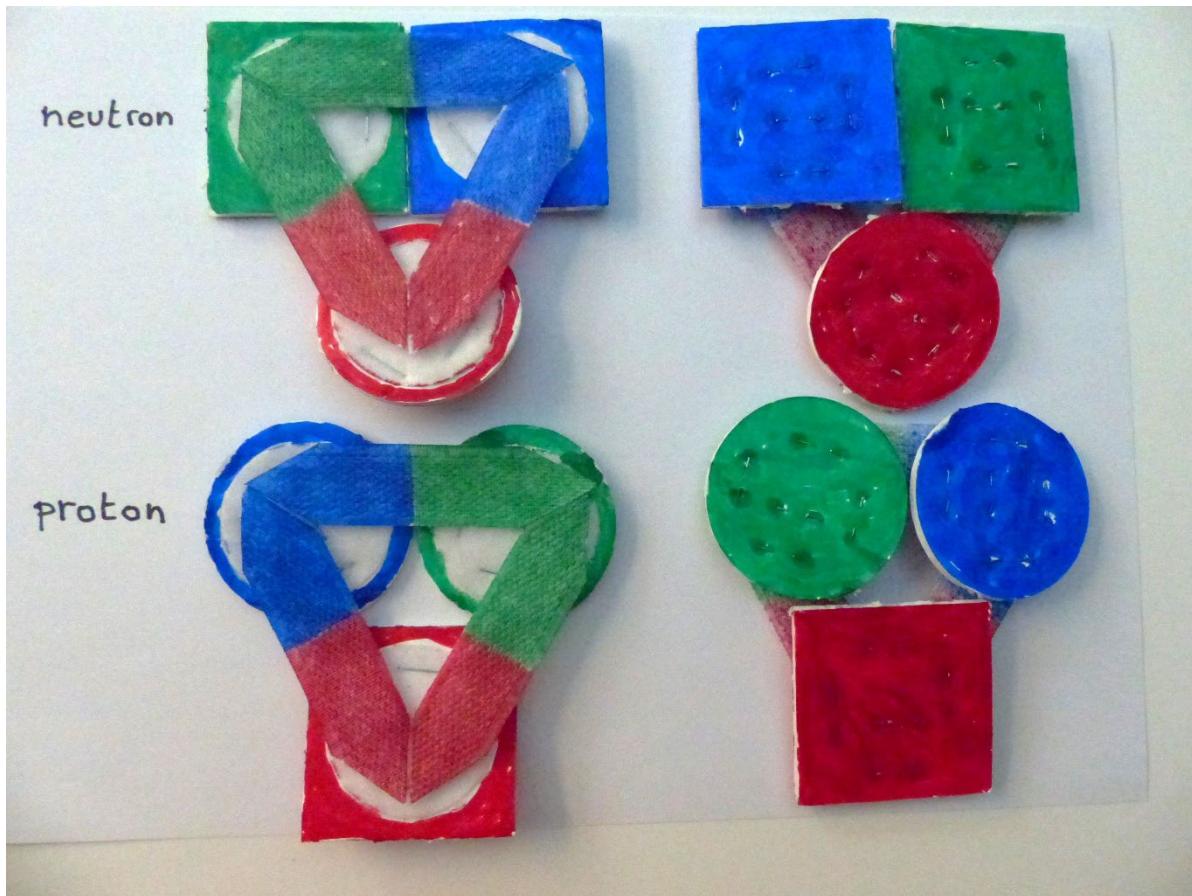
Chaque assemblage terminé de 3 quarks a ainsi autant de chacune des 3 couleurs. On dit alors que l'assemblage formé est « blanc » pour traduire le fait qu'il n'interagit plus avec les assemblages voisins similaires. En effet l'interaction forte ne se manifeste qu'entre objets « colorés ».

Dans la Nature, certains assemblages sont plus solides que d'autres. Les plus fragiles se

« désintègrent » très vite. Deux types d'assemblages vont rester :

- le « proton » formé des quarks up-up-down ;
- le « neutron » formé des quarks down-down-up.

Des assemblages comme up-up-up ou down-down-down sont possibles mais ils ne sont pas « solides » et se transformeront en un proton ou un neutron.



Représentation du neutron (ligne du haut) et du proton (ligne du bas). Les deux colonnes correspondent au recto (à droite) et au verso (à gauche). Sur les faces verso, on voit les bandes de velcro-crochet des gluons qui sont agrippées aux disques en velcro-velours des quarks. Pour plus de détails voir la fiche de réalisation de ces objets ainsi que les notices de montage.

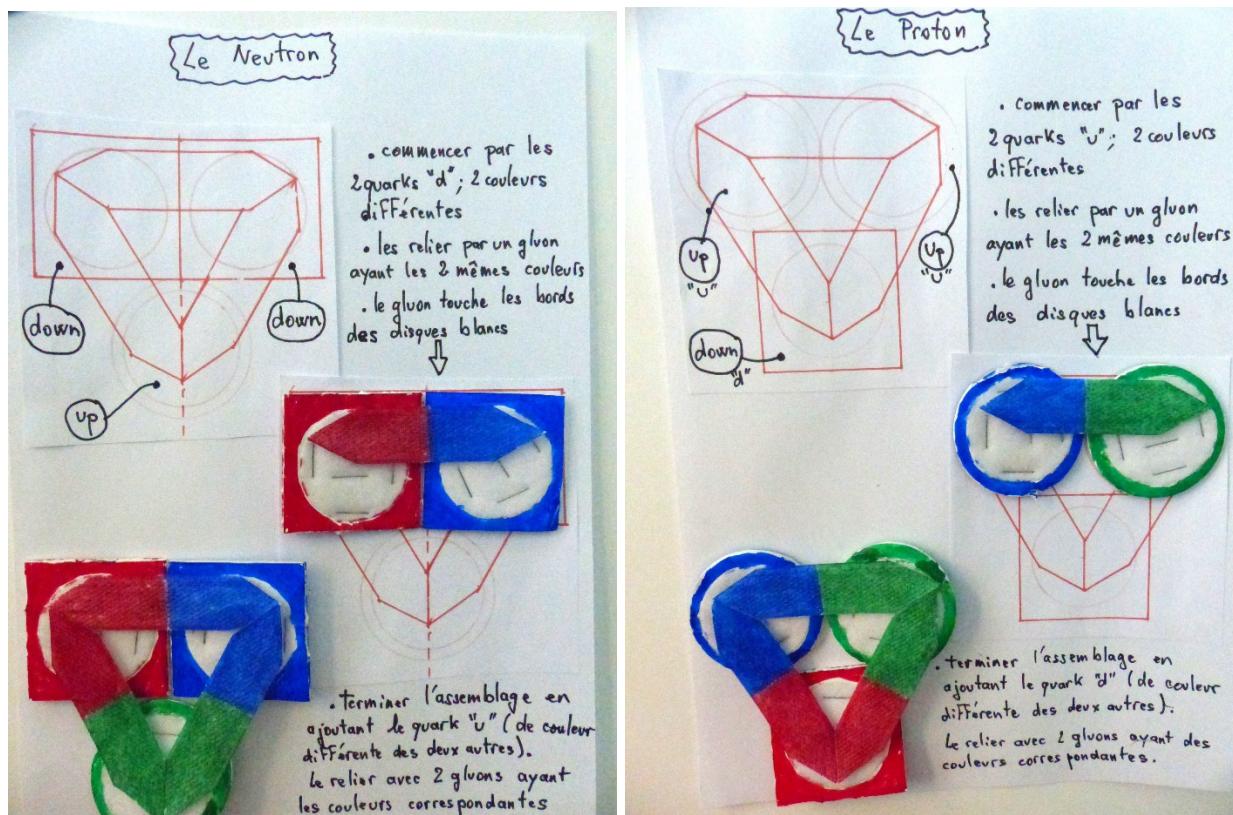
On remet les protons et neutrons dans le récipient (ou dans un plus grand que le précédent car l'Univers a grandi), on agite comme précédemment. On ouvre le récipient et on doit retrouver séparés les protons et neutrons de départ.

#### Messages / commentaires :

- proton et neutron sont formés à partir des mêmes quarks « up » et « down » et ce sont les « mêmes » gluons qui assurent leur cohésion.
- Contrairement au chaos initial, « l'interaction forte » ne se manifeste plus qu'à l'intérieur du proton et du neutron. Ces derniers peuvent passer à proximité l'un de l'autre sans « se voir ». C'est pour illustrer cet aspect que nous avons utilisé les trois couleurs primaires : rouge, vert et bleu. Si on éclaire un écran en superposant ces 3 couleurs en proportions égales on obtient du blanc c'est-à-dire une surface non-colorée. La notion de couleur a été introduite pour illustrer le fait que seuls des objets colorés sont sensibles à l'interaction forte alors que des objets non-colorés ne le sont pas. (*montrer que la combinaison des 3 couleurs donne du blanc*).

- **La chaleur fantastique qui règne dans l'Univers à ces instants est piégée à l'intérieur du proton et du neutron.** Les quarks s'y agitent en tous sens mais ne peuvent en sortir étant « fortement » liés par les gluons.
- Ces petits grains d'énergie que sont le proton et le neutron sont présents dans nos corps ... **c'est ce qui constitue notre poids** (notre masse, plus exactement, car le poids dépend aussi de l'attraction terrestre). La célèbre relation  $E = m c^2$  permet de passer de l'énergie à la masse.
- Il peut être inquiétant d'imaginer que nous avons dans nos corps une telle quantité fantastique de petits sacs (bien fermés) contenant de tels brasiers ! Une personne d'environ 50 kg en contient à peu près  $30\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$  (soit  $3 \times 10^{28}$ ). Chaque seconde, environ 8000 de ces petits sacs « fuient » (sans que nous nous en apercevions, tout en étant facilement mesurable avec des appareils appropriés), ils forment une contribution à la radioactivité naturelle à laquelle nous sommes soumis et habitués. Si l'on veut récupérer réellement une partie plus conséquente de l'énergie contenue dans ces petits sacs, les technologies développées dans les centrales nucléaires le permettent.

### Assemblage du proton et du neutron :



# Les premiers atomes



## Atelier : jeu « Premiers atomes ; la lumière est libérée »

Les protons, chargés positivement attirent les électrons. L'association entre un proton et un électron permet de former l'atome le plus simple : l'hydrogène. **Cependant, l'Univers est encore trop chaud et les photons (grains de lumière) beaucoup plus nombreux que les protons (1 000 000 000 /1 proton) empêchent toute liaison stable entre proton et électron.** Ce n'est qu'au bout de 380 000 ans que des atomes stables (90 % d'hydrogène et 10% d'hélium) vont pouvoir perdurer. De même que les noyaux avaient piégé l'interaction forte à l'intérieur d'eux-mêmes, les atomes « piègent » l'interaction électrique. Les nombreux photons qui rebondissaient d'un électron à l'autre en perdant toute mémoire de l'endroit où ils avaient été émis vont alors pouvoir se déplacer « tout droit » et nous les recevons, sur Terre, 14 milliards d'années plus tard. En les mesurant nous pouvons alors enregistrer leur direction initiale, dans l'Univers, d'où l'expression : « rayonnement fossile ».

Nous prenons les protons et neutrons du jeu précédent. On profite de la présence d'un « trou » au centre du modèle du proton pour y insérer un morceau de velcro-crochet qui va représenter la charge électrique du proton. Le neutron est neutre donc pas de charge électrique à ajouter.

Les « photons » qui transmettent les forces électriques sont représentés par des fines bande de velcro-velours de 15 cm de long.

Les électrons sont de petits disques de carton-mousse (3 cm de diamètre) sur lesquels on a accroché un petit morceau de velcro-crochet.



*Vues recto et verso du proton sur lequel on a représenté l'accroche pour la charge électrique (triangle orange). Les bandes blanches sont des photons. On a mis également deux électrons (recto et verso).*

On va opérer comme dans le cas de la soupe aux noyaux. Dans un premier temps on met dans un bac les protons, neutrons, photons (en grand nombre) et électrons (en nombre égal aux protons afin de conserver la charge électrique totale). On agite bien fort.

On s'attend à avoir des photons attachés aux électrons (tous les électrons devraient être « attachés »), très peu de photons attachés au proton (accrochage difficile).



### **Messages / commentaires :**

- les photons interagissent principalement avec les électrons. En pratique, lorsqu'ils entrent en collision, ils ne restent pas attachés aux électrons ; ils repartent dans une direction différente. L'agitation des particules et leurs multiples rencontres font qu'elles sont toutes à la température ambiante.

### **Formation des atomes :**

L'Univers continue de grandir et la température diminue. Vers 3000 °, les photons n'ont plus suffisamment d'énergie pour ioniser les atomes qui deviennent alors stables. Les collisions entre photons et électrons libres deviennent rares si bien que les photons ne peuvent plus se mettre à la température du milieu ; on dit qu'ils se découpent. Leur énergie va alors suivre simplement celle due à l'expansion de l'Univers et ils se propagent en ligne droite.

On relie, à la main, chaque proton à un photon lui-même relié à un électron ce qui forme un atome d'hydrogène. On remet le tout dans la boîte avec les neutrons et les photons restants. On agite. On doit retrouver les divers objets, notamment les photons, non-attachés à d'autres objets.

### **Messages / commentaires :**

- À partir de cette température les photons n'interagissent quasiment plus avec la matière contenue dans le milieu : essentiellement les atomes d'hydrogène et environ 10% d'atomes d'hélium. Leur direction, dans le ciel, indique, encore de nos jours, l'endroit où ils ont été émis.

++++++

# Appendices



## Réalisation des quarks, gluons, photons, électrons.

### Les quarks :

- Deux types de support ont été testés : du carton rigide de 2mm et du carton mousse de 3mm. Ces deux supports peuvent convenir mais le carton mousse a l'avantage d'être bien blanc et les retours des agrafes (voir plus loin) sont moins saillants ce qui évite des « accrochages parasites » entre les objets. Il faut bien aplatis les retours des agrafes afin qu'ils ne soient pas en saillie par rapport au carton ;
- Deux types de colle ont été testés (Pattex-eXtreme et Sader colle contact néoprène) pour coller le velcro sur les cartons. Les 2 conviennent.
- Des tests d'arrachage du velcro-velours collé sur les cartons ont été faits. Les résultats dépendent du type de velcro-crochet car certains accrochent plus que d'autres sur le velours... Deux échantillons de 20 mm de largeur ont été testés. Celui qui accroche le plus provoque le détachement du velcro-velours du support au bout d'une dizaine d'essais : du carton rigide se détache une feuille de carton adhérant au velcro-velours ; pour le carton mousse c'est le film qui est collé sur la mousse qui se détache. Si l'on agrafe le velcro au carton après l'avoir collé on peut effectuer plus de 70 essais sans problème avec le velcro le plus accrocheur.
- Les retours des agrafes restent cependant en saillie avec le carton rigide alors qu'ils sont plus noyés dans le carton mousse. Ce dernier est donc préférable. Il est cependant nécessaire de bien vérifier que les retours d'agrafes ne soient pas gênants. On pourrait envisager de coller des disques adhésifs colorés (rouge, bleu et vert) sur ces retours.
- Les quarks « down » sont des carrés en carton-mousse de 5x5 cm et de 3 mm d'épaisseur ;
- Les quarks « up » sont des disques de 5 cm de diamètre et de 3 mm d'épaisseur. Ils sont obtenus en utilisant un emporte-pièce.
- Sur les quarks on a collé, sur une face, un disque de velcro-velours de 4 cm de diamètre. Ces disques sont tenus également par 5 agrafes. Les disques sont obtenus avec un emporte-pièce du diamètre correspondant à partir de bandes de velcro de 5 cm de large.
- Les gluons sont des bandes de velcro-crochet de 2 cm de large et de 8,5 cm de longueur. La partie centrale est un rectangle de 5 cm de longueur. Les extrémités sont des triangles équilatéraux.
- Les photons sont des bandes de velcro-velours de 15 cm de longueur et 1 cm de largeur
- Les électrons sont des disques de carton-mousse de 3 cm de diamètre sur lesquels a été collé et agrafé (2 agrafes) un rectangle de 1 x 1,5 cm de velcro-crochet
- La charge positive du proton est portée par un triangle équilatéral de velcro-crochet de 4 cm de côté.

Une autre configuration pour les photons et électrons où on inverse les parties velours et crochet

est encore étudiée.



### **Matériel nécessaire à la réalisation du jeu.**

Pour fabriquer 10 protons et 10 neutrons :

- + 30 quarks « up » et 30 quarks « down ». Ces quarks sont coloriés à la main d'une des 3 couleurs ; soit 10 de chaque couleur.
- + 60 gluons bicolores ; veiller à avoir le même nombre de couples de couleurs différentes.
- + 10 électrons
- + autant de photons que vous désirez.

Des plaques de carton-mousse de 3 mm d'épaisseur et de format A3 ont été utilisées (2 doivent suffire). Le velcro a été acheté sur internet ainsi que l'emporte-pièce ayant des lames de différents diamètres.