



RÉCITS DE PHYSIQUE POUR FABRIQUER L'UNIVERS

<http://hebergement.u-psud.fr/supraconductivite/recits/index.html>

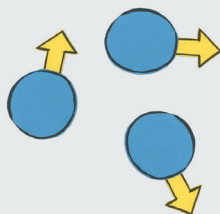
Ce travail est le fruit du diplôme de Margaux Khalil et Claire Thibon du DSAA Design d'Illustration Scientifique de l'École Estienne, en collaboration avec Julien Bobroff (LPS, Université Paris-Sud) et Roland Lehoucq (CEA-Saclay). Un grand merci à l'équipe professorale de l'école Estienne, à Michèle Garrec et Blandine Berthe pour leur aide. La production des différents supports a bénéficié du soutien de la Chaire «La Physique Autrement» portée par la Fondation Paris-Sud et soutenue par le groupe Air Liquide, de ICAM-I2CAM et de la Société Française de Physique.

L'AIMANT

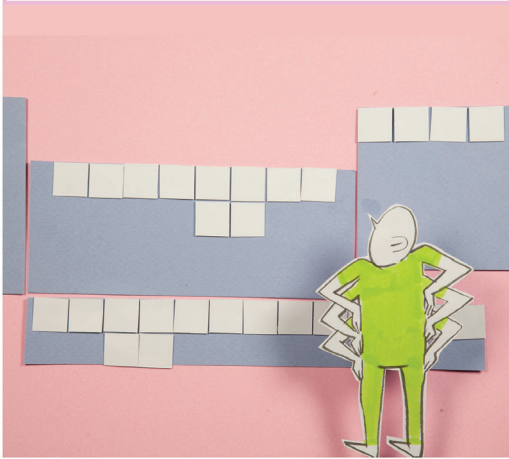


POUR
FABRIQUER
UN AIMANT,
IL FAUT :

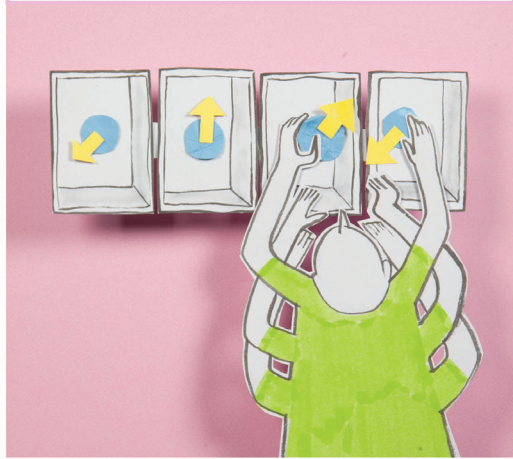
DES ATOMES MAGNÉTIQUES



POUR FAIRE UN AIMANT, IL FAUT D'ABORD CHOISIR LES BONS ATOMES.



PAR EXEMPLE, DES ATOMES DE FER, QUI SONT MAGNÉTIQUES CAR ILS POSSÈDENT UN SPIN.



LA LIAISON MÉTALLIQUE VA LES REGROUPER...



LES ASSEMBLER...



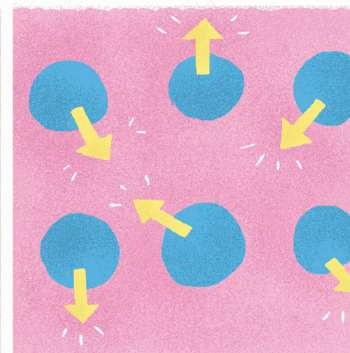
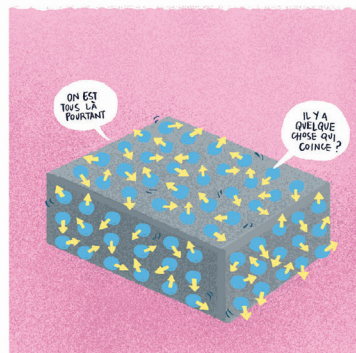
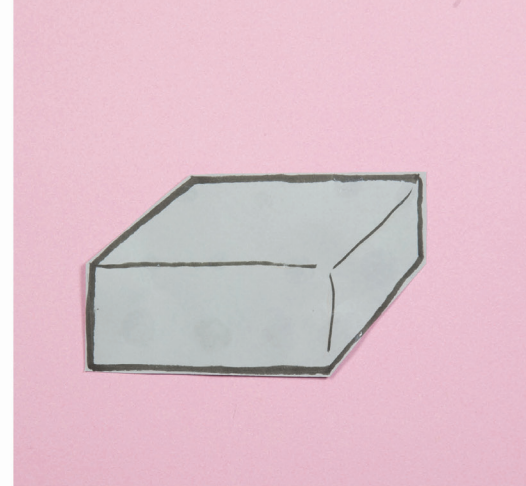
POUR FORMER LE SOLIDE.



UNE FOIS ASSEMBLÉS, CES ATOMES CONSTITUENT LA STRUCTURE SOLIDE...



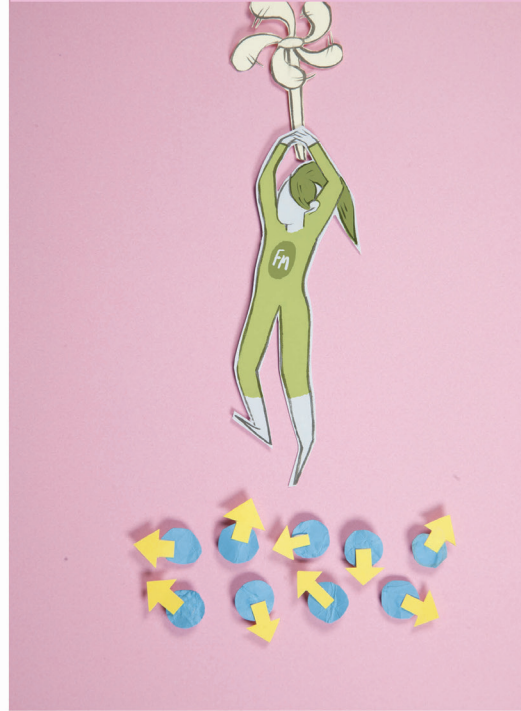
MAIS CE N'EST TOUJOURS PAS UN AIMANT !



POUR AIMANTER LE SOLIDE, ON A BESOIN D'UN PETIT TRUC EN PLUS...



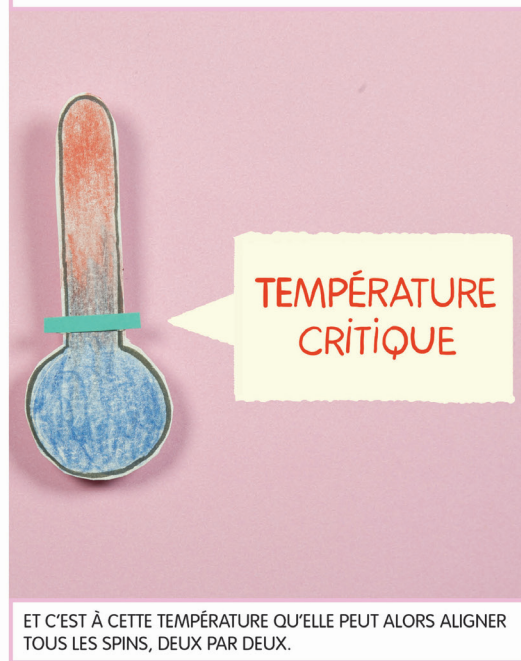
ET C'EST L'INTERACTION FERROMAGNÉTIQUE QUI S'EN OCCUPE.



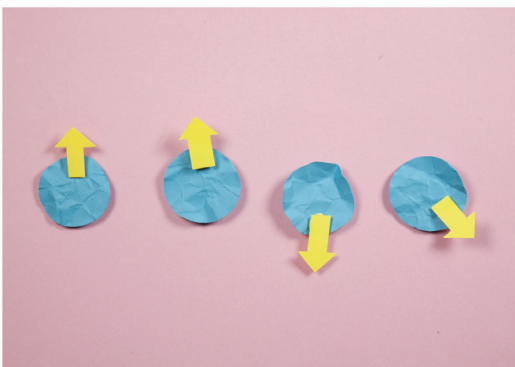
ELLE VA UTILISER SES POUVOIRS POUR ALIGNER LES SPINS...

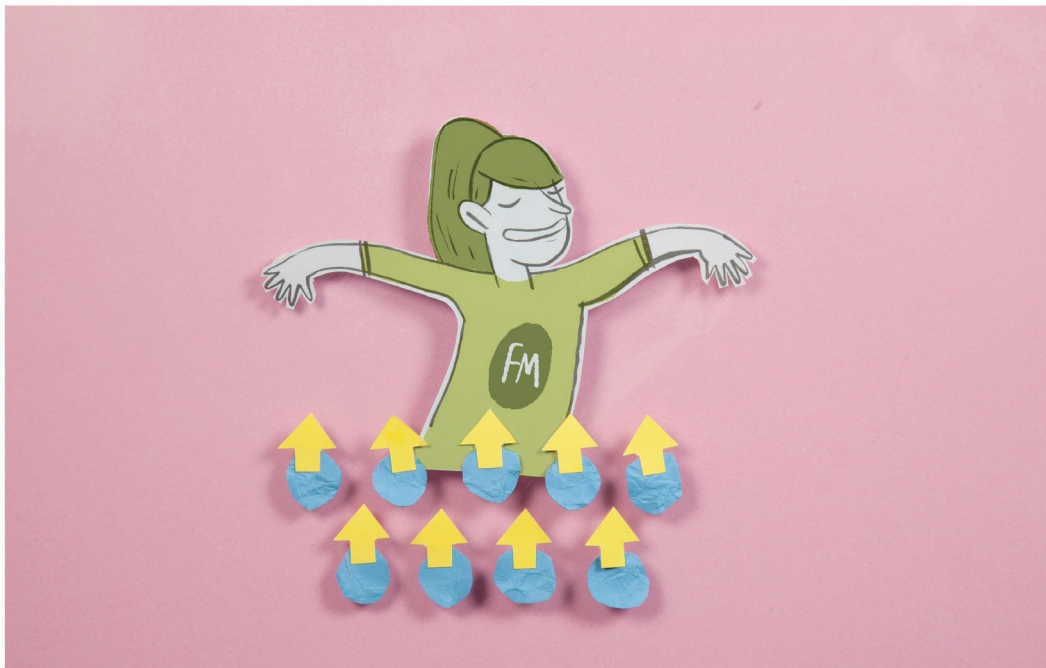


POUR CELA, ELLE VA FAIRE BAISSER LA TEMPÉRATURE JUSQU'À UNE TEMPÉRATURE CRITIQUE...



ET C'EST À CETTE TEMPÉRATURE QU'ELLE PEUT ALORS ALIGNER TOUS LES SPINS, DEUX PAR DEUX.

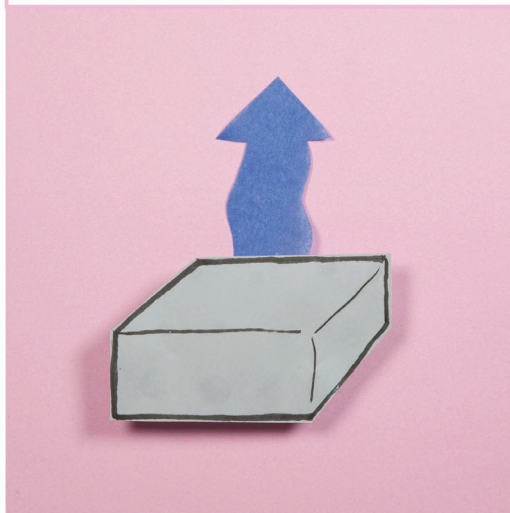




LES EFFETS DES SPINS ALIGNÉS S'AJOUTENT, ET LE SOLIDE A MAINTENANT UN PÔLE NORD ET UN PÔLE SUD.

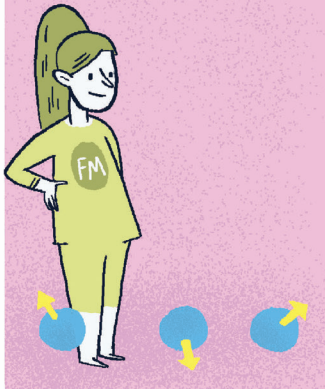


C'EST UN AIMANT !



MAIS SI LES LOIS DE LA PHYSIQUE N'ÉTAIENT PAS TOUT À FAIT LES MÊMES...

SI NOTRE INTERACTION DÉCIDE DE NE PAS ALIGNER LES SPINS...



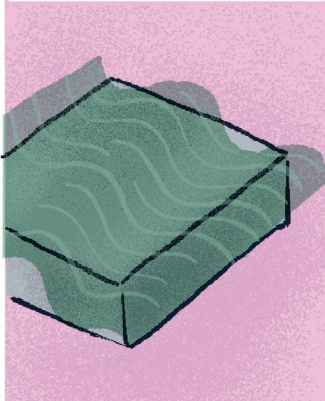
MAIS PLUTÔT DE PRENDRE LES ÉLECTRONS...



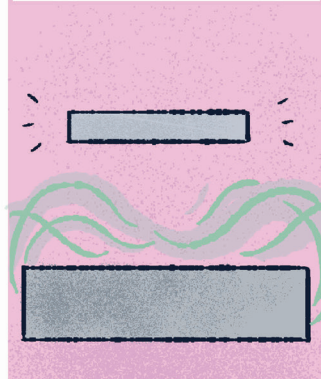
ET D'EN FAIRE UNE VAGUE QUANTIQUE.



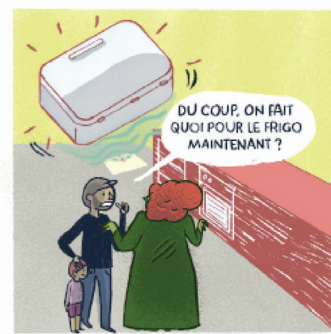
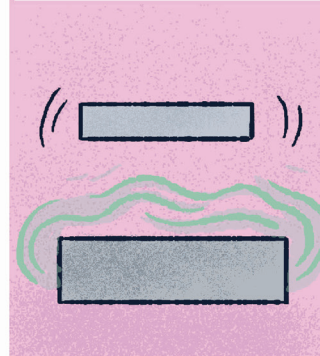
L'ONDE ALORS CRÉÉE...



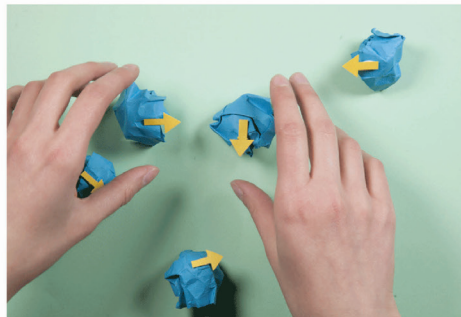
VA REPOUSSER L'AIMANT ET LE FAIRE LÉVITER !



C'EST CE QU'ON APPELLE LA SUPRACONDUCTIVITÉ ! ET ÇA EXISTE !

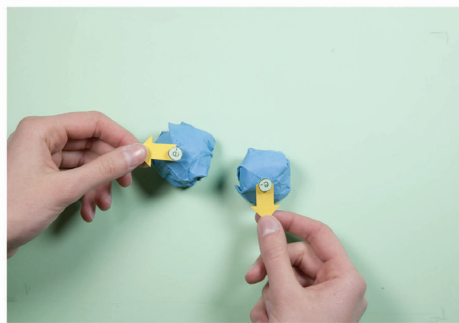


LIAISON MÉTALLIQUE



Cette interaction permet aux atomes de s'accrocher entre eux et de former ainsi un solide. Les atomes peuvent se lier de différentes façons : deux atomes peuvent mettre en commun leurs électrons, c'est la liaison covalente. Un atome peut prendre un électron à son voisin, c'est la liaison ionique. Ou tous les atomes peuvent mettre en commun des électrons qui ont le droit de se déplacer librement. C'est la liaison métallique.

INTERACTION FERROMAGNÉTIQUE



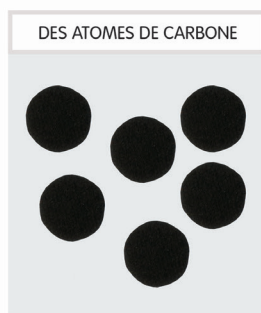
C'est ce qui donne envie à 2 spins (les petits aimants portés par les électrons dans l'atome) d'électrons placés sur deux atomes voisins de s'aligner.

Si les spins n'étaient pas parallèles, les électrons pourraient cohabiter sur le même atome, mais cela aurait un fort coût car deux électrons se repoussent électriquement. Pour éviter ce surcoût, les électrons préfèrent donc avoir leurs spins parallèle et profiter ainsi du principe d'exclusion.

LE DIAMANT



**POUR
FABRIQUER
UN DIAMANT,
IL FAUT :**



POUR FAIRE NOTRE DIAMANT, IL NOUS FAUT DES ATOMES DE CARBONE.



UN PEU PLUS...



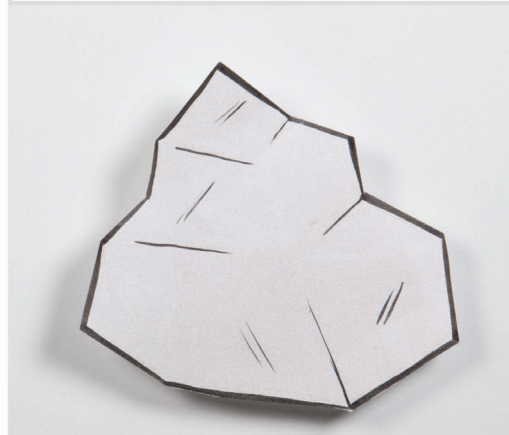
BEAUCOUP D'ATOMES DE CARBONE !



MAIS COMMENT PASSE-T-ON D'UN TAS D'ATOMES...



À UN DIAMANT ?



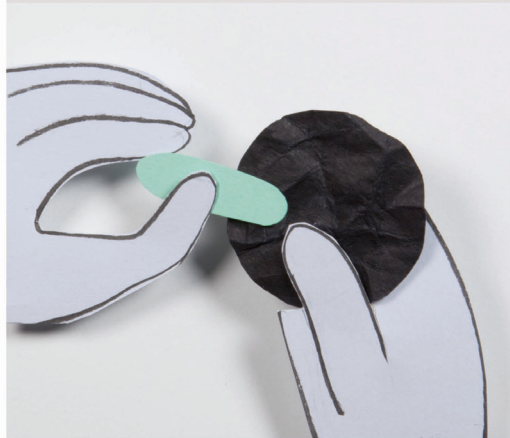
POUR ÇA ON A BESOIN DE LA LIAISON COVALENTE



LA LIAISON VA PRENDRE UN ATOME DE CARBONE



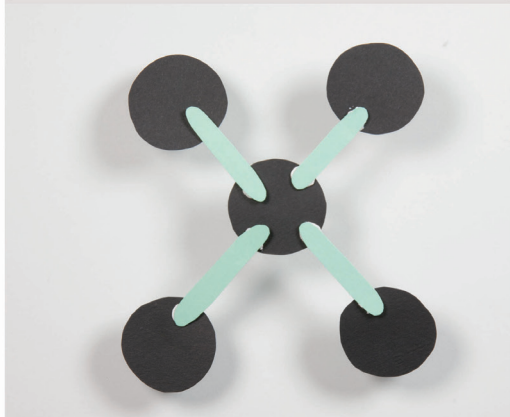
ET ATTRAPER UN ÉLECTRON DE L'ATOME



POUR LE LIER À UN ÉLECTRON D'UN AUTRE ATOME, ON APPELLE ÇA UNE LIAISON COVALENTE.



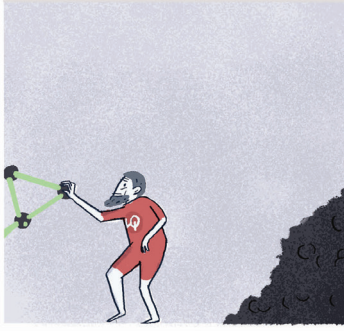
CHAQUE ATOME PARTAGE DONC SES 4 ÉLECTRONS AVEC SES VOISINS, CE QUI FORME DES LIENS TRÈS SOLIDES.



L'INTERACTION FAIT ÇA SUR TOUS
LES ATOMES DE CARBONE.



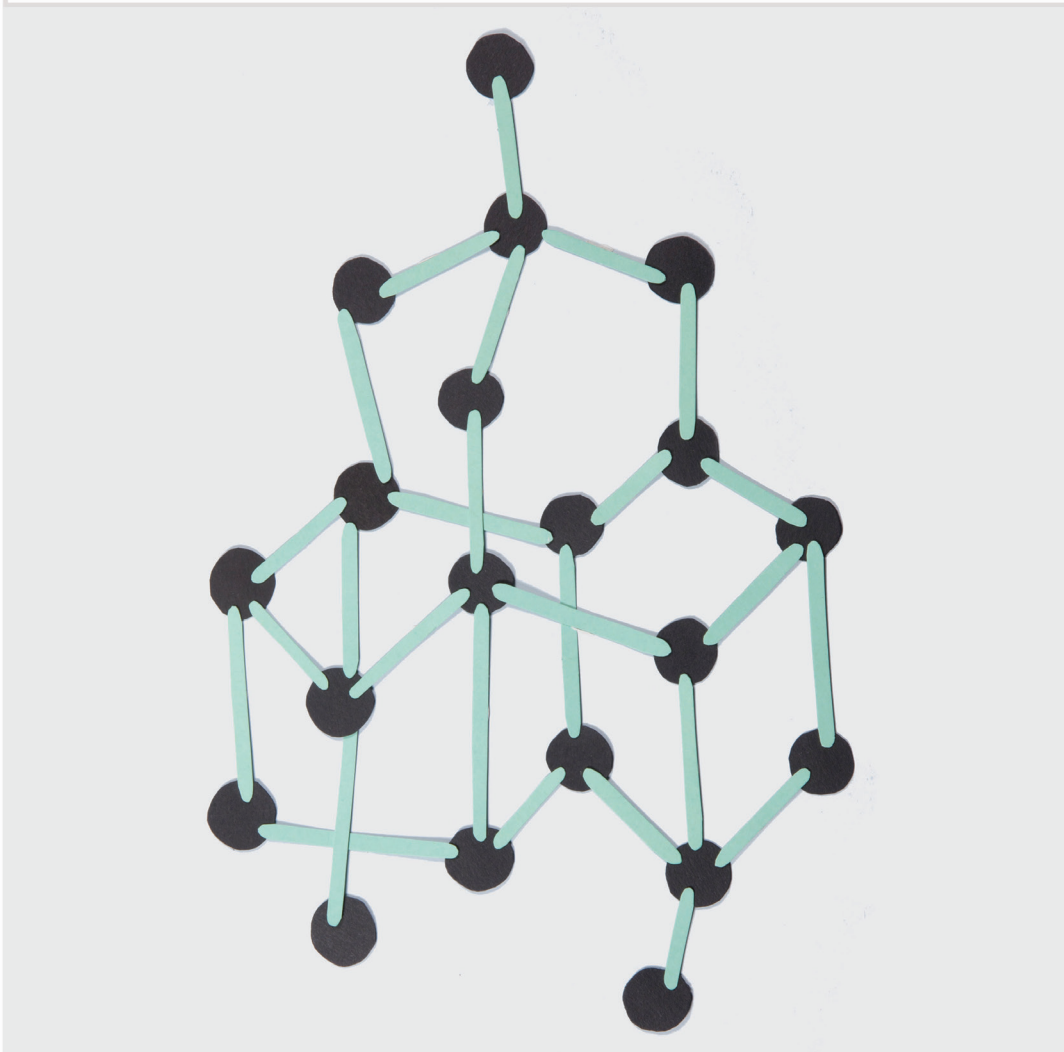
C'EST LONG...



TRÈS, TRÈS, TRÈS LONG...

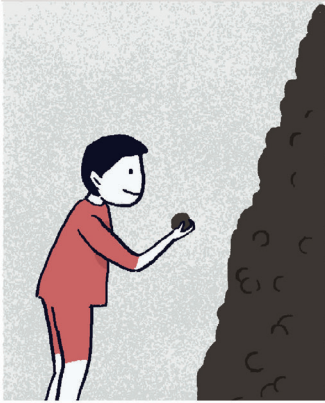


IL FAUT RÉPÉTER L'OPÉRATION AVEC DES MILLIARDS DE MILLIARDS D'ATOMES, EN GÉNÉRAL ÇA PREND QUELQUES MILLIONS D'ANNÉES... À TERME, LA LIAISON DES ATOMES DE CARBONE FORME UNE STRUCTURE DE TÉTRAÈDRES IMBRIQUÉS LES UNS DANS LES AUTRES... C'EST LE DIAMANT.

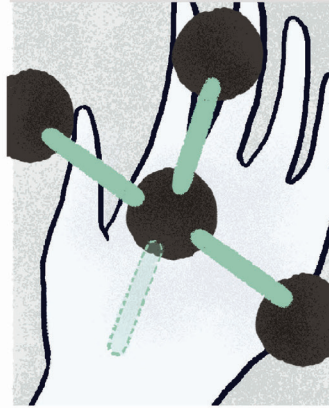


MAIS SI LES LOIS DE LA PHYSIQUE N'ÉTAIENT PAS TOUT À FAIT LES MÊMES...

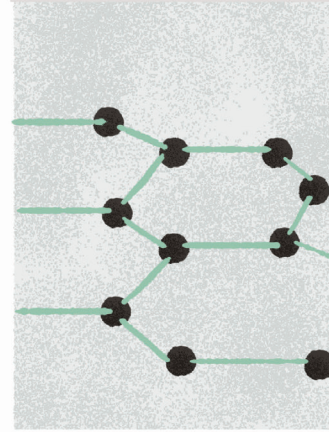
SI NOTRE BRAVE LIAISON
COVALENTE



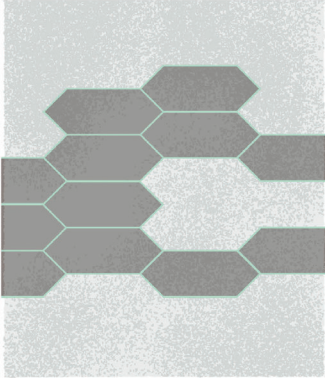
DÉCIDE DE NE LIER CHAQUE
ATOME QU'À TROIS VOISINS...



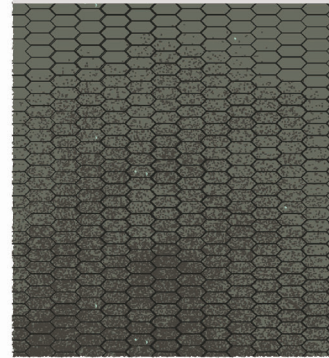
SA STRUCTURE SERA MODIFIÉE.



ON N'AURA PLUS DE TÉTRAÈDRES
MAIS DES HEXAGONES...



CE N'EST PLUS UNE BELLE
STRUCTURE DE TÉTRAÈDRES
TRÈS SOLIDE.



MAIS DU CHARBON !



LIAISON COVALENTE



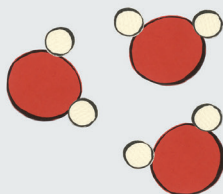
C'est une liaison qui relie deux atomes dans la matière, par exemple deux carbones dans un diamant: c'est quand deux atomes ont intérêt à mettre en commun chacun un électron dans une liaison commune. Cela leur permet chacun d'atteindre une configuration quantique plus stable et donc plus favorable. Cette liaison est très solide.

LA BULLE DE SAVON



**POUR
FABRIQUER
UNE BULLE
DE SAVON,
IL FAUT :**

DES MOLÉCULES DE H_2O



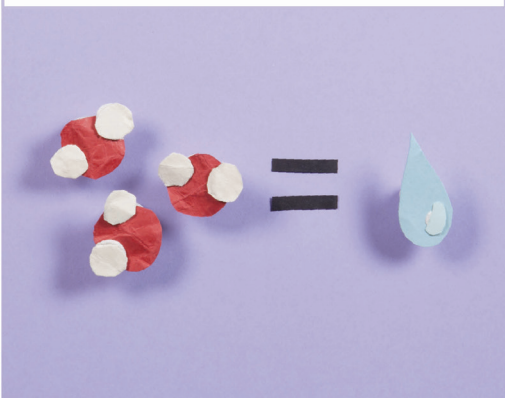
DU SURFACTANT



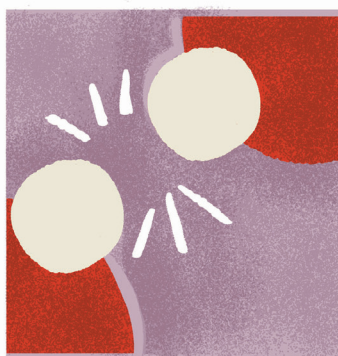
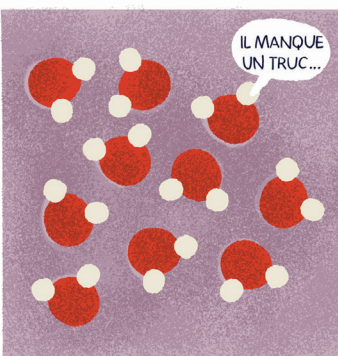
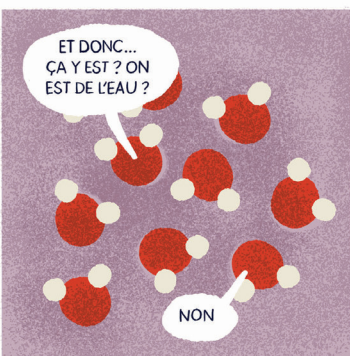
DE L'AIR



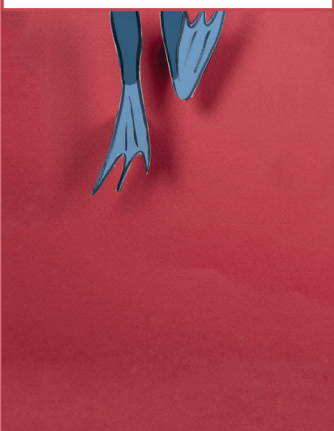
POUR FAIRE DE L'EAU, IL NOUS FAUT DES MOLÉCULES DE H₂O.



IL FAUT REGROUPER LES MOLÉCULES, ET LES CHAUFFER À UNE TEMPÉRATURE D'ENVIRON 20°.



POUR QUE L'EAU SE CRÉEÉ



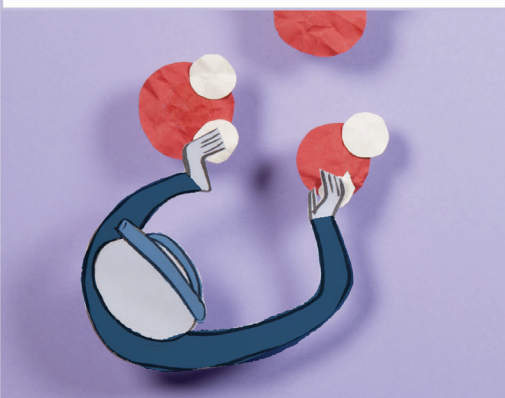
ON A BESOIN DE...



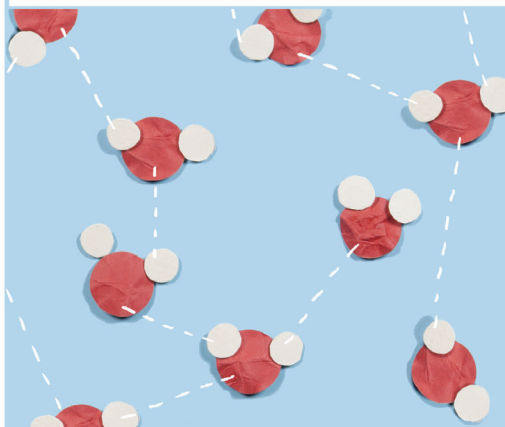
LA LIAISON HYDROGÈNE !



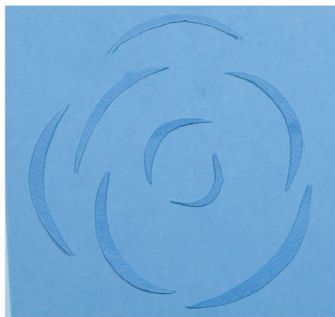
LA LIAISON HYDROGÈNE VA ACCROCHER LES MOLÉCULES ENTRE ELLES, ELLE LIE UN OXYGÈNE AVEC UN HYDROGÈNE.



LES MOLÉCULES SONT ALORS RELIÉES ENTRE ELLES...



ET FORMENT DE L'EAU !



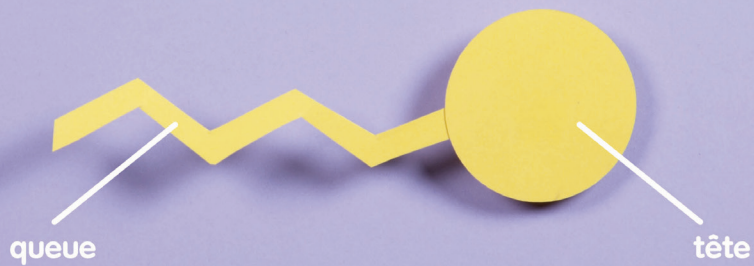
MAINTENANT POUR FAIRE DES BULLES, IL NOUS FAUT DU SAVON.



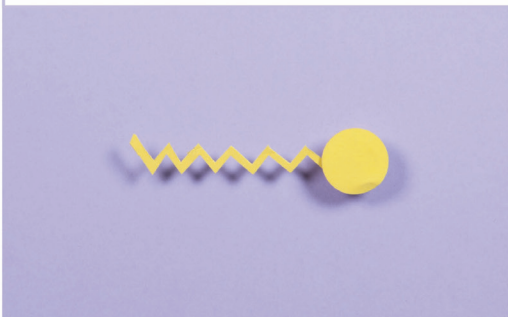
LE SAVON EST COMPOSÉ DE MOLÉCULES DE SURFACTANT, COMME PAR EXEMPLE: LE LAURYL SULFATE DE SODIUM $C_{12}H_{25}NaO_4S$



SOUS SA FORME SIMPLIFIÉE, ÇA DONNE ÇA :



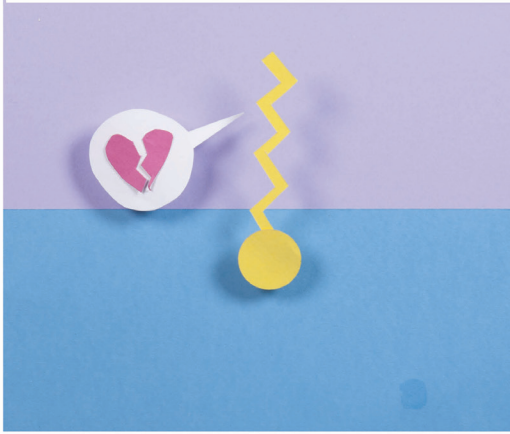
SA TÊTE, CHARGÉE ÉLECTRIQUEMENT À CAUSE DU SODIUM, PEUT FACILEMENT S'ACCROCHER AUX MOLÉCULES DE L'EAU POUR DES RAISONS ÉLECTRIQUES. PAR CONTRE, LA QUEUE AVEC LES CARBONES ET LES HYDROGÈNES N'AIME PAS L'EAU CAR L'EAU EST OBLIGÉE DE CHANGER SON ORGANISATION EN SA PRÉSENCE.



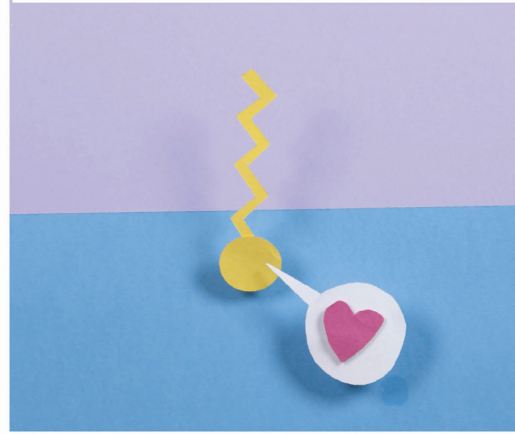
L'INTERACTION A SERVI ICI À ATTIRER LES TÊTES ET L'EAU.



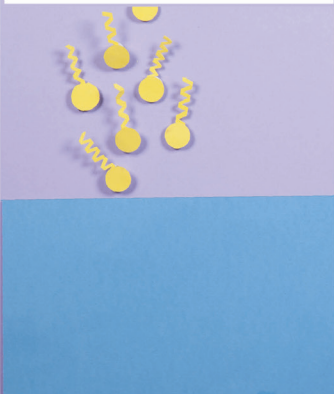
LA QUEUE EST ALORS HYDROPHOBE...



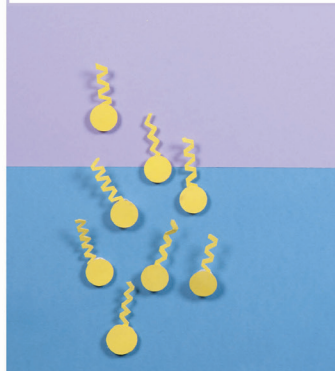
ET LA TÊTE HYDROPHILE !



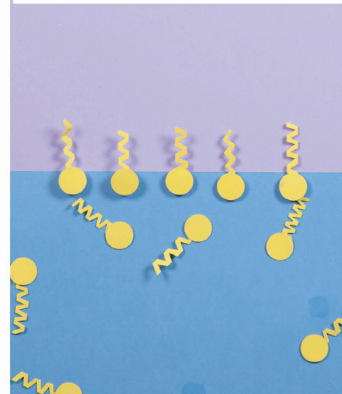
LORSQUE L'ON VERSE LES MOLÉCULES DANS L'EAU...



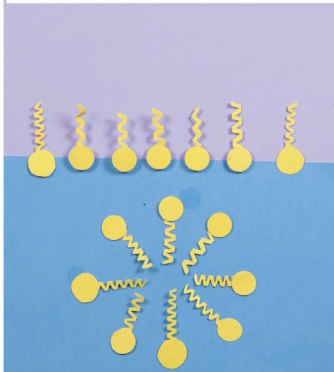
LES QUEUES DES MOLÉCULES VONT TOUT FAIRE POUR SE PROTÉGER DE L'EAU...



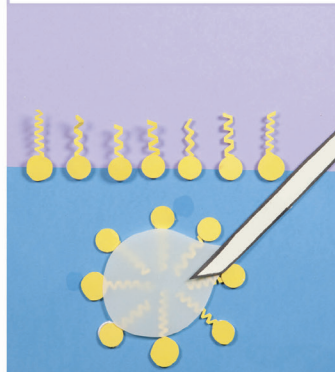
CERTAINES VONT POUVOIR ÊTRE HORS DE L'EAU, D'AUTRES NON.



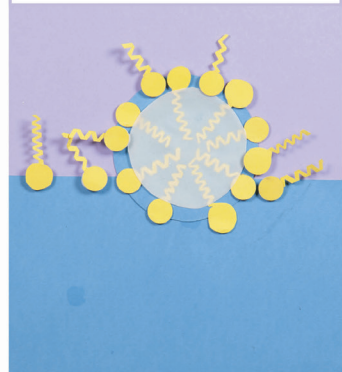
LES QUEUES VONT ALORS FORMER DES PETITES SPHÈRES POUR SE PROTÉGER DE L'EAU.



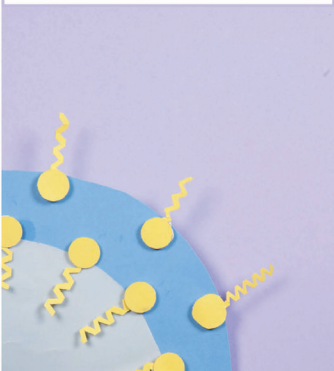
SI ON SOUFFLE DE L'AIR, L'AIR VA PÉNÉTRER LES SPHÈRES FORMÉES PAR LES QUEUES...



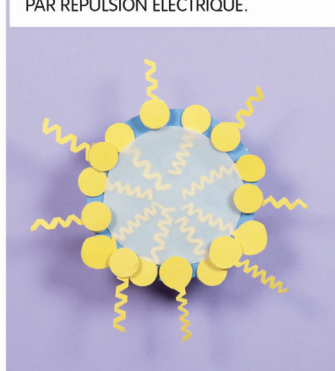
ET FAIRE REMONTER LES MOLÉCULES, QUI VONT ATTRAPER CELLES DE LA SURFACE.



LA BULLE EST FORMÉE PAR DE L'AIR AU MILIEU, ET UNE COUCHE D'EAU COINCÉE ENTRE DEUX RANGÉES DE SURFACTANT.



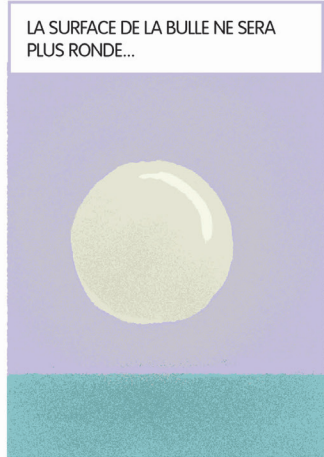
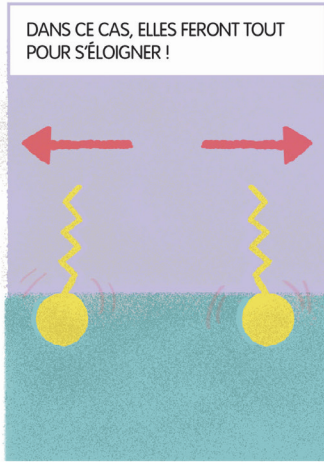
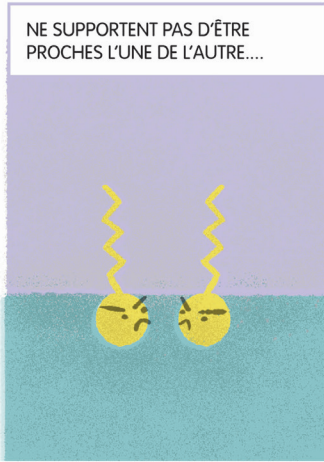
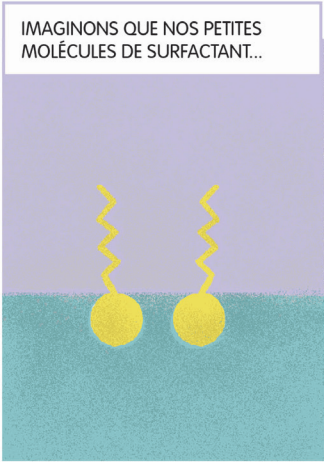
LA BULLE PEUT SURVIVRE CAR LES MOLÉCULES DE SURFACTANT SÉPARÉES PAR L'EAU SE REPOUSSENT PAR RÉPULSION ÉLECTRIQUE.



LE FILM D'EAU DANS UNE BULLE DE QUELQUES CENTIMÈTRES EST TRÈS FIN, DE L'ORDRE DE QUELQUES CENTAINES DE NANOMÈTRES SEULEMENT.



MAIS SI LES LOIS DE LA PHYSIQUE N'ÉTAIENT PAS TOUT À FAIT LES MÊMES...



LIAISON HYDROGÈNE



C'est une liaison qui relie des hydrogènes à d'autres molécules. Par exemple quand on approche deux molécules d'eau, les atomes d'hydrogène d'une des molécules, chargés positivement, vont se relier à l'atome d'oxygène d'une molécule voisine, car il est chargé négativement.

LA Foudre



POUR
FABRIQUER
UNE GALAXIE
SPIRALE,
IL FAUT :

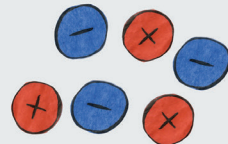
UN CUMULONIMBUS



DES PARTICULES DE GLACE
ET DE POUSSIÈRES



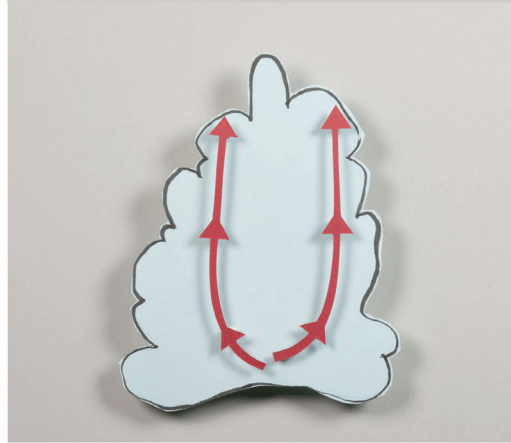
DES CHARGES ÉLECTRIQUES



LES CUMULONIMBUS SONT CONSTITUÉS DE PARTICULES DE POUSSIÈRES ET DE GLACES.



À CAUSE DES DIFFÉRENCES DE TEMPÉRATURE, L'AIR SUIT UN MOUVEMENT ASCENDANT DANS LE NUAGE



EN RAISON DES MOUVEMENTS D'AIR, LES PARTICULES SE FROTTENT ENTRE ELLES.



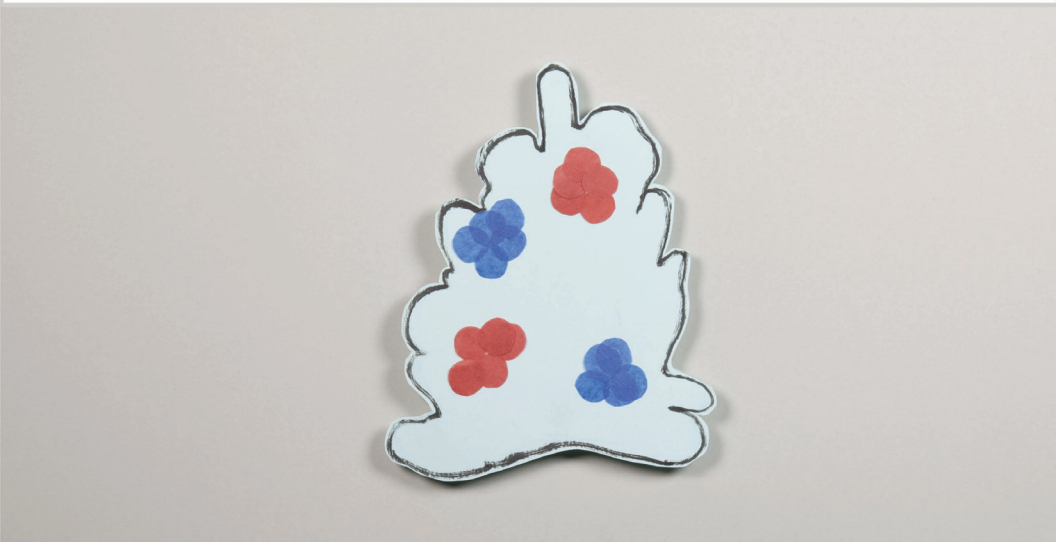
LES FROTTEMENTS VONT FACILITER L'ÉCHANGE D'ÉLECTRONS ENTRE LES PARTICULES



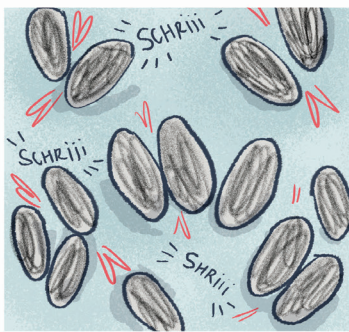
À CAUSE DE LA FRICTION LES PARTICULES VONT DONC SE CHARGER POSITIVEMENT OU NÉGATIVEMENT.



LES CHARGES ÉLECTRIQUES S'ACCUMULENT LOCALEMENT DANS LE NUAGE...

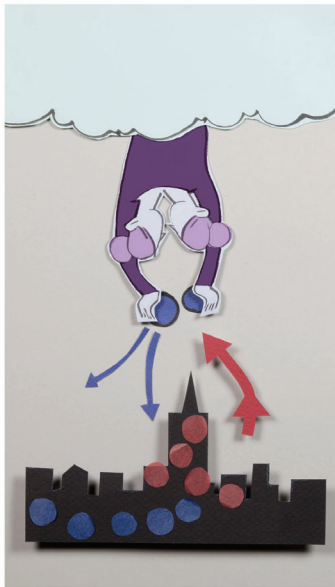
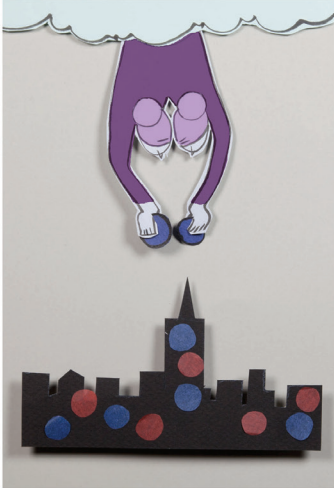


ET DES DÉCHARGES SE FORMENT À L'INTÉRIEUR.

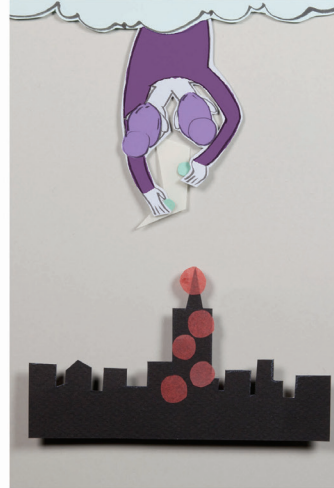


L'INTERACTION ÉLECTROSTATIQUE, ARRIVÉE DANS LE NUAGE, AGIT ENTRE LES CHARGES NÉGATIVES.

ELLE PERMET QUE LES CHARGES NÉGATIVES ATTIRENT LES CHARGES POSITIVES.



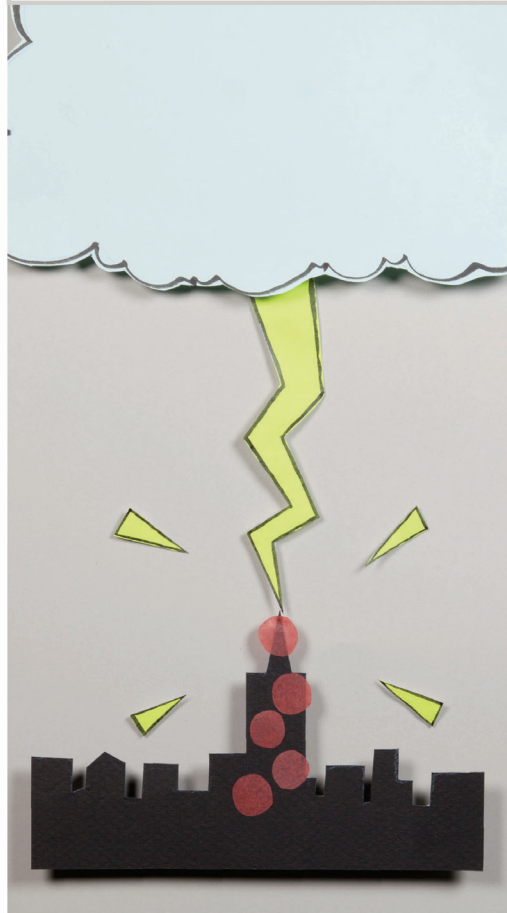
ENSUITE, ELLE ARRACHE LES ÉLECTRONS DES MOLÉCULES DE L'AIR ET LE REND CONDUCTEUR.



UN CANAL IONISÉ SE CRÉE, ET ...



LA Foudre TOMBE !



LA GALAXIE SPIRALE

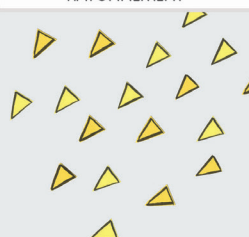


**POUR
FABRIQUER
UNE GALAXIE
SPIRALE,
IL FAUT :**

MATIÈRE LUMINEUSE



RAYONNEMENT



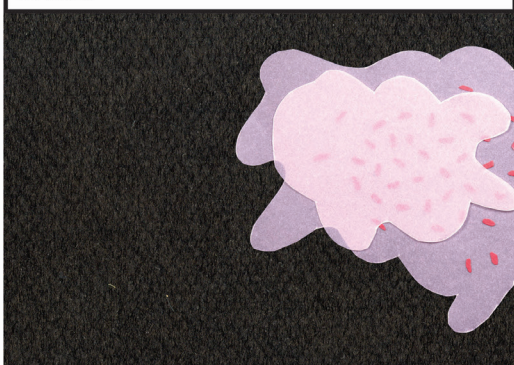
DU TEMPS



TOUT COMMENÇA, IL Y A 13.8 MILLIARDS D'ANNÉES, DANS LE GAZ PRIMODIAL DE L'UNIVERS.
LE GAZ CONTIENT DES GRUMEAUX, ET EST DONC INHOMOGÈNE.



LE GAZ EST LA FORME SOUS LAQUELLE SE PRÉSENTE LA MATIÈRE.



IL EST CONSTITUÉ DE MATIÈRE LUMINEUSE, ORDINAIRE, SEMBLABLE À CELLE QUI NOUS CONSTITUE.



ET DE **MATIÈRE NOIRE**, NON OBSERVABLE, IMAGINÉE PAR LES SCIENTIFIQUES.

LA GRAVITÉ DU GAZ EST L'INTERACTION DOMINANTE.



LA GRAVITÉ EST UN PEU PLUS FORTE DANS LES GRUMEAUX CAR ILS SONT PLUS DENSES.



LA GRAVITÉ PLUS FORTE DES GRUMEAUX



ATTIRE À EUX LA MATIÈRE ENVIRONNANTE

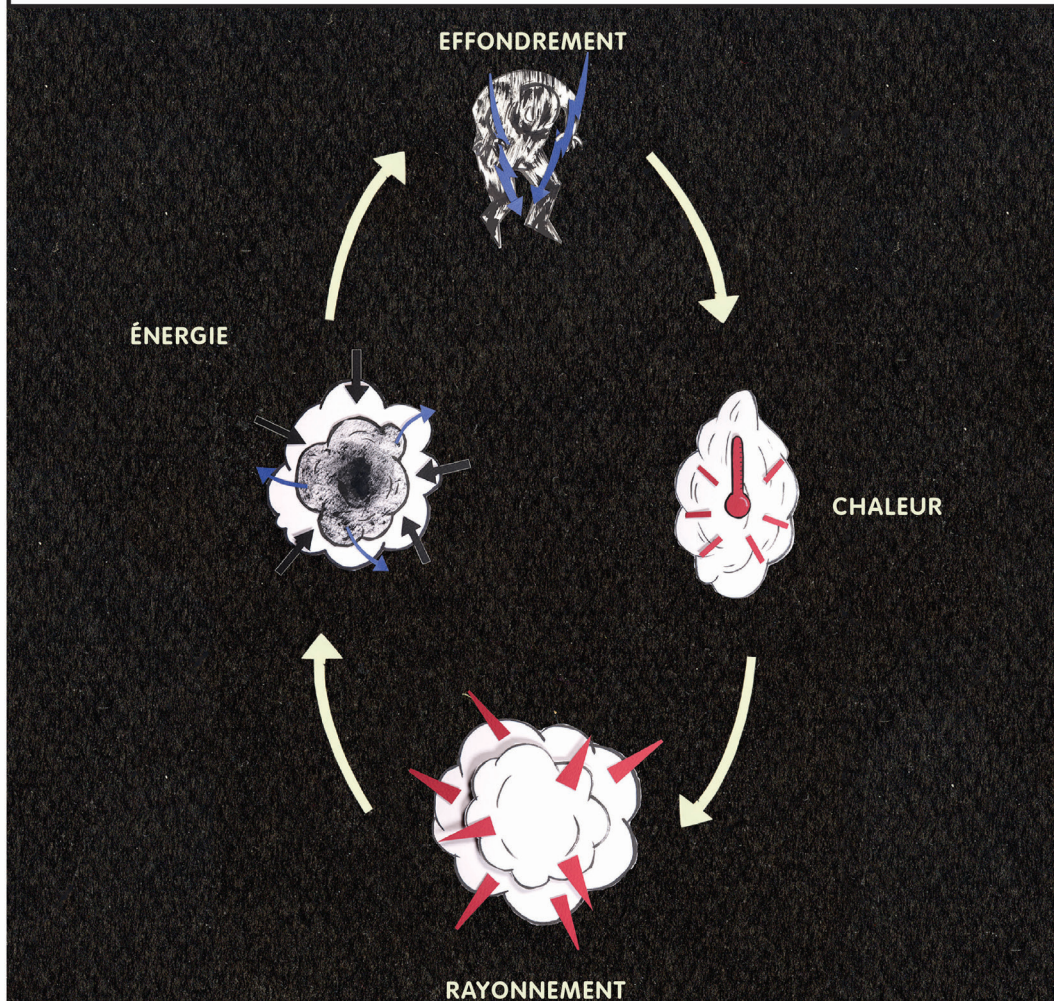


ILS DEVIENNENT DONC DE PLUS EN PLUS DENSES.

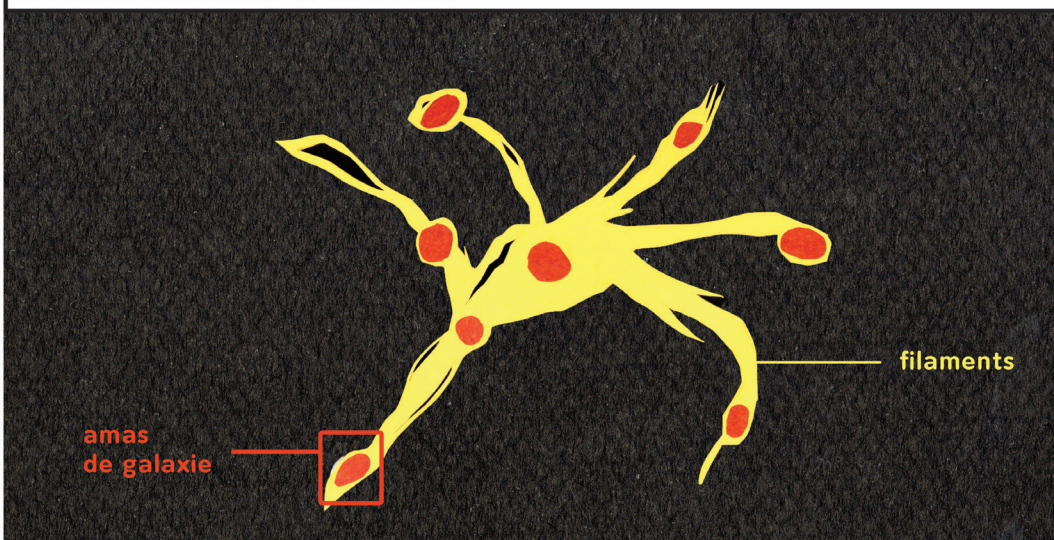




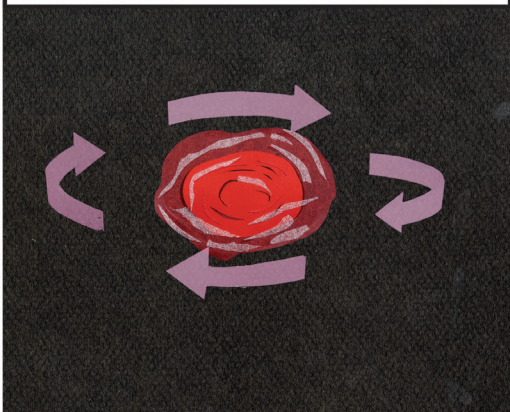
PLUS LE GAZ S'EFFONDRE, PLUS IL CHAUFFE; PLUS IL CHAUFFE, PLUS IL RAYONNE; PLUS IL RAYONNE, PLUS IL PERD DE L'ÉNERGIE; PLUS IL PERD DE L'ÉNERGIE, PLUS IL S'EFFONDRE...



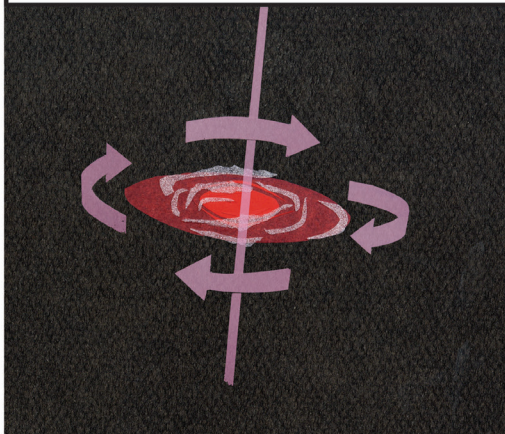
LES TRACES LAISSÉES PAR L'EFFONDREMENT DE LA MATIÈRE CRÉENT DES FILAMENTS, CHAQUE GRUMEAU EST À L'ORIGINE DE CE QUI EST DÉSORMAIS UN AMAS DE GALAXIES.



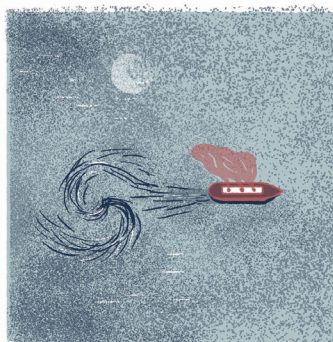
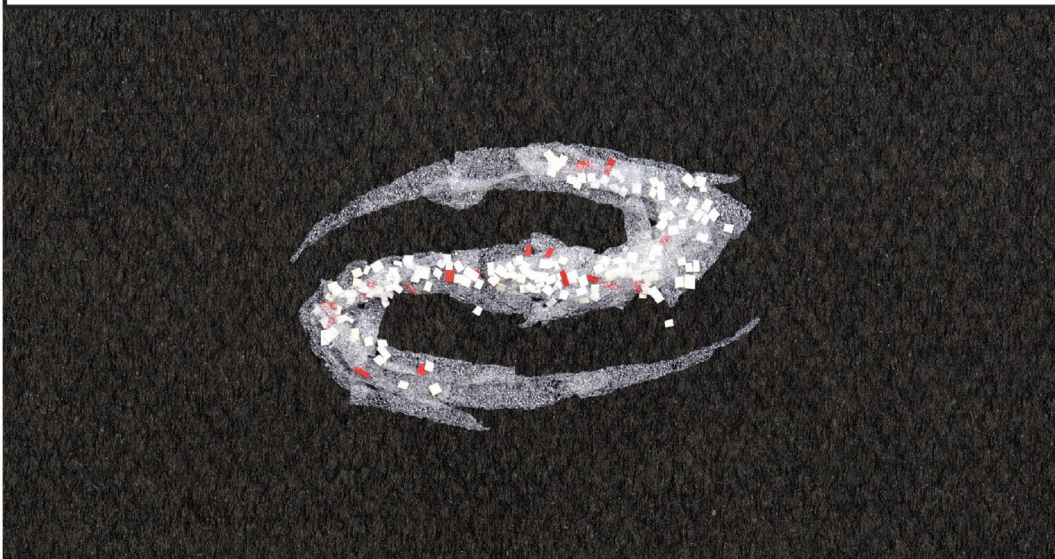
LES GALAXIES EN ROTATION SUBISSENT LA FORCE CENTRIFUGE



QUI LES APLATIT EN FORME DE DISQUE FIN.



AINSI, PETIT À PETIT, UNE GALAXIE EN SPIRALE SE FORME !



GRAVITATION



La gravitation est une des quatre forces fondamentales.
Elle cause l'attraction des corps massifs entre eux sous l'effet de leur masse.
Plus un corps est massif, plus cette force est grande. Elle a été décrite
d'abord par Newton puis par Einstein avec la relativité générale, mais la
théorie de Newton suffit si les vitesses des objets ne sont pas trop élevées,
et c'est souvent le cas.

L'ÉTOILE



POUR
FABRIQUER
UNE GALAXIE
SPIRALE,
IL FAUT :

UN NUAGE INTERSTELLAIRE



DU TEMPS



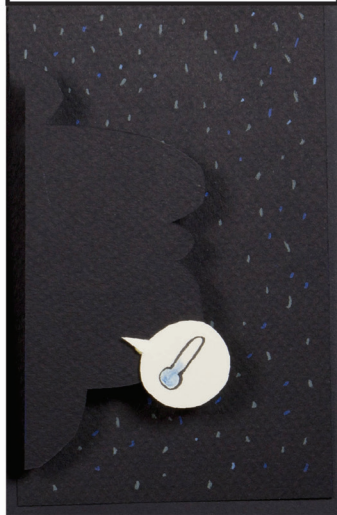
IL Y A QUELQUES MILLIONS D'ANNÉES, DANS UN IMMENSE NUAGE INTERSTELLAIRE...



LE NUAGE CONTIENT PRINCIPALEMENT DU DIHYDROGÈNE ET PLUS DE 140 AUTRES MOLÉCULES.



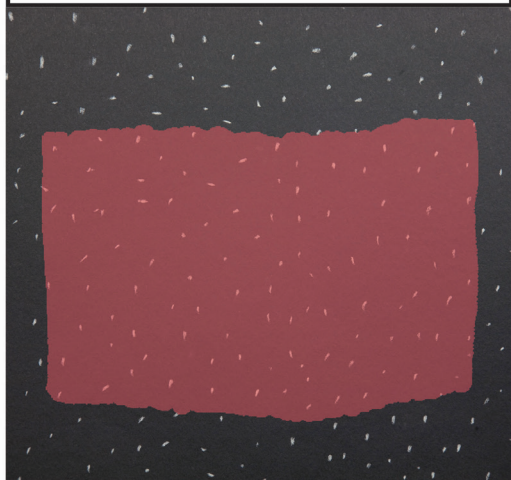
IL EST FROID ET PEU DENSE.



LE NUAGE EST OPAQUE À LA LUMIÈRE VISIBLE...



...MAIS TRANSPARENT DANS L'INFRAROUGE.

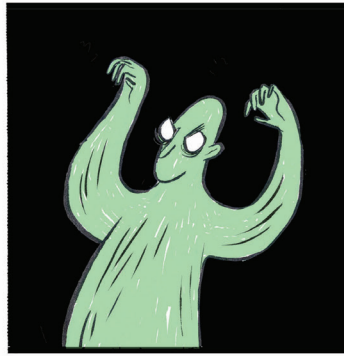


DANS CE NUAGE, DEUX INTERACTIONS S'AFFRONTENT : LA GRAVITÉ ATTIRE LES PARTICULES MAIS LA PRESSION DU GAZ S'Y OPPOSE ET LES REPOUSSE.



LES FORCES S'ÉQUILIBRENT, LA GRAVITÉ COMPRESSE LE NUAGE ET LA PRESSION LE DILATE.





LES ÉTOILES RAYONNANT DANS TOUS LES SENS,
ELLES RÉCHAUFFENT LA SURFACE DU NUAGE.



AINSI, C'EST AU CŒUR DU NUAGE QUE SE TROUVENT LES
ZONES LES PLUS FROIDES.



DANS LES ZONES FROIDES...



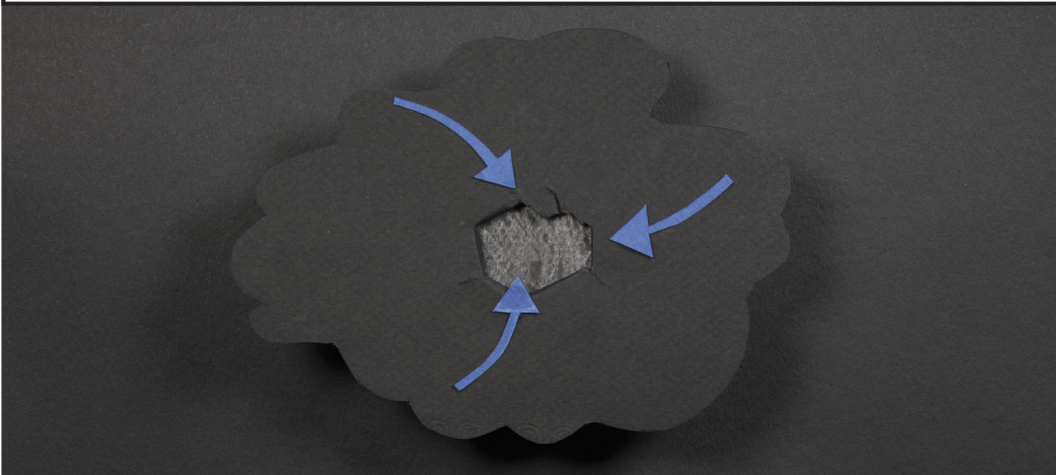
LA FORCE DE LA PRESSION DIMINUE...



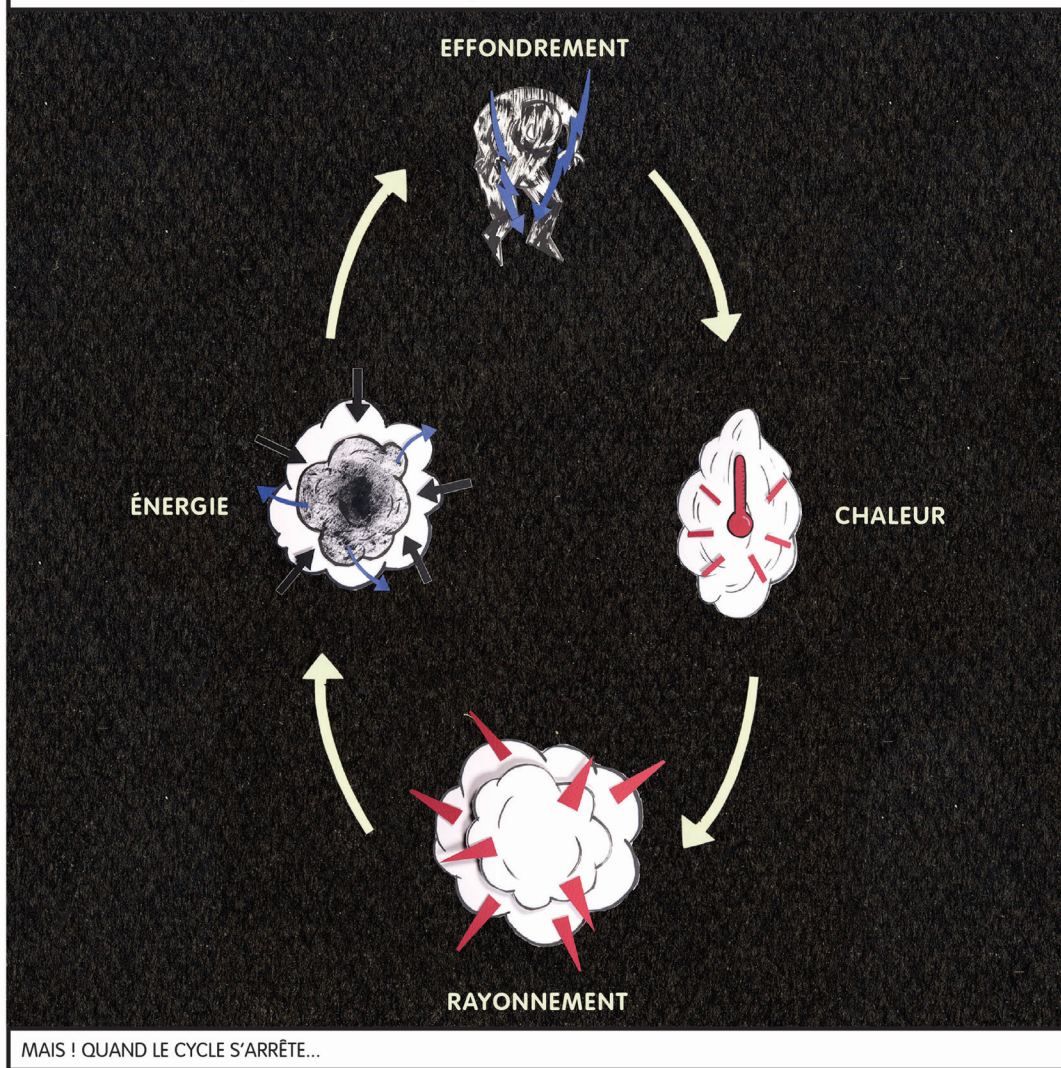
ET LA GRAVITÉ PREND LE DESSUS.



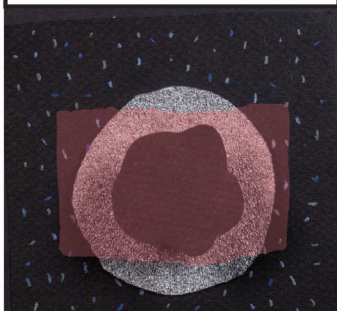
LES PARTIES CENTRALES DU NUAGE S'EFFONDRENT SOUS L'EFFET DE LEUR GRAVITÉ.



AINSI, PLUS LE GAZ S'EFFONDRE, PLUS IL CHAUFFE; PLUS IL CHAUFFE, PLUS IL RAYONNE; PLUS IL RAYONNE, PLUS IL PERD DE L'ÉNERGIE; PLUS IL PERD DE L'ÉNERGIE, PLUS IL S'EFFONDRE...



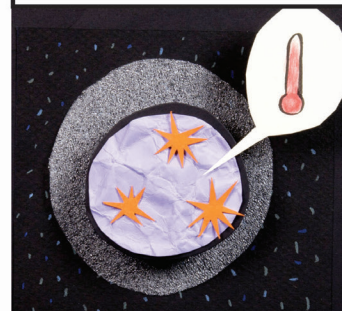
LE NUAGE DEVIENT OPAQUE À LA LUMIÈRE INFRAROUGE.



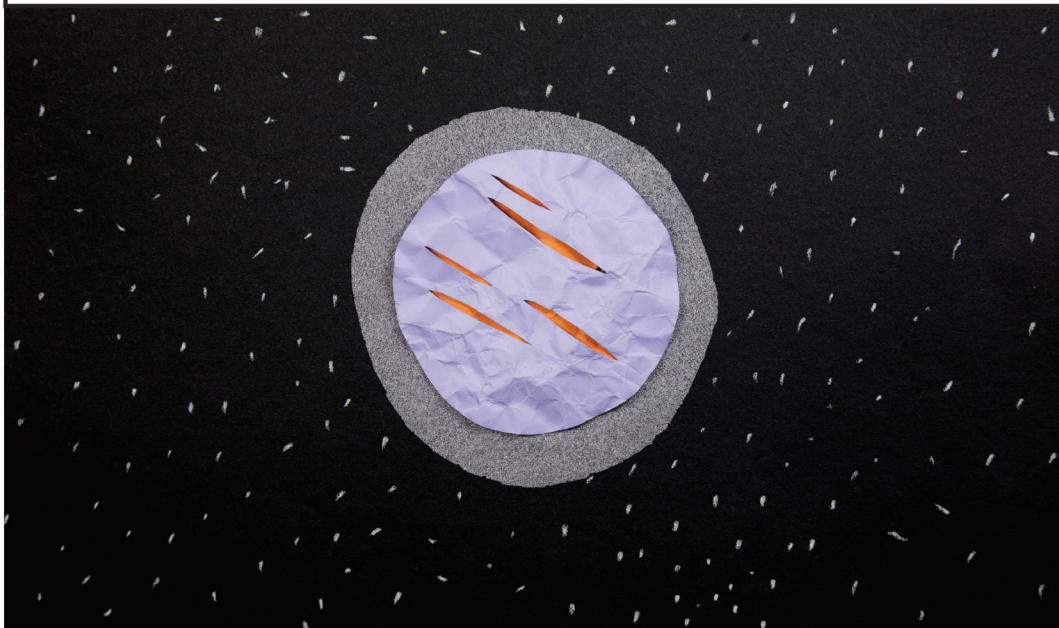
L'ÉNERGIE NE S'ÉCHAPPE PLUS, LE CŒUR DU NUAGE S'ÉCHAUFFE CONSIDÉRABLEMENT...



AU POINT DE DÉCLENCHER DES RÉACTIONS DE FUSION NUCLÉAIRE.



UNE ÉTOILE EST NÉE !

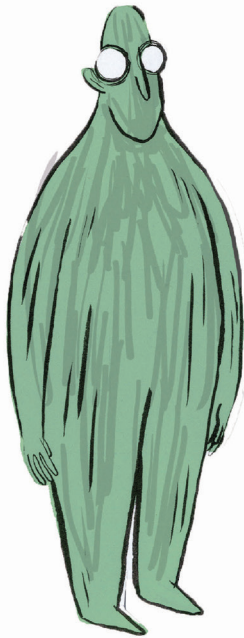


GRAVITATION



La gravitation est une des quatre forces fondamentales.
Elle cause l'attraction des corps massifs entre eux sous l'effet de leur masse.
Plus un corps est massif, plus cette force est grande. Elle a été décrite
d'abord par Newton puis par Einstein avec la relativité générale, mais la
théorie de Newton suffit si les vitesses des objets ne sont pas trop élevées,
et c'est souvent le cas.

PRESSION D'UN GAZ



La pression est une force qu'exerce un fluide ou un solide sur une surface. Dans un gaz, la pression résulte des collisions incessantes des particules du gaz sur les parois du récipient qui le contient. La pression atmosphérique est la conséquence du poids de l'atmosphère et est équivalente au poids de 10 tonnes par mètre carré.