
MOUVEMENTS D'AIR CHAUD ET D'AIR FROID

PROPOSITIONS PEDAGOGIQUES (C.M.)

Jean-Michel ROLANDO
Professeur de sciences physiques
Centre IUFM de Bonneville

Dans un précédent article¹, nous avons eu l'occasion d'insister sur la nécessaire continuité à assurer entre les différents cycles de la scolarité pour que puissent s'opérer des apprentissages efficaces. L'objectif prioritaire, dans le cas de l'air, étant son caractère matériel, nous avons montré l'intérêt d'établir une analogie avec d'autres substances à l'état solide ou liquide, dont la matérialité ne fait aucun doute pour les élèves.

Dans ce texte, nous faisons quelques propositions plus particulièrement adaptées à des classes de fin de cycle 3. Il est question d'approcher quelques phénomènes physiques naturels s'expliquant par des mouvements d'air, puis d'établir un parallèle avec des phénomènes similaires se produisant avec l'eau.

Ce faisant, nous précisons comment nous envisageons les démarches scientifiques à l'école et nous fournirons quelques pistes exploitables.

I - OBJECTIFS POURSUIVIS

Nous les indiquons selon deux niveaux de formulation : le premier utilise le vocabulaire et les concepts scientifiques, le suivant est adapté à des élèves de fin de primaire.

Formulation scientifique	Transposition pour des classes primaires
La densité d'une substance diminue avec la température. Cette propriété est générale. Elle conduit, dans le cas de fluides, à des mouvements de convection.	L'air chaud est moins dense ² que l'air froid. Un mouvement d'air chaud vers le haut s'accompagne d'un mouvement d'air froid vers le bas. Cette propriété est également vraie pour tous les fluides, par exemple l'eau.

¹ - Rolando J.M., (1999), "L'air du cycle 1 au cycle 3", *Grand N*, n°64

² - Il est possible, en fin de primaire, d'adopter cette formulation correcte (et non "l'air chaud est plus léger que l'air froid"), à condition d'avoir travaillé sur la distinction entre "poids" et "volume".

II - LE SAVOIR SCIENTIFIQUE : UN OUTIL POUR COMPRENDRE LE MONDE, ET NON UN OBJET D'ETUDE

À quoi sert de savoir que l'air chaud monte et que l'air froid descend ? Le savoir scientifique n'est pas gratuit. Il importe de retrouver dans la science qui se fait à l'école, non les contenus, mais les finalités de la science savante. Les modèles et les théories, à quelque niveau que ce soit, sont des outils destinés à rendre le monde intelligible.

Savoir que la densité de l'air dépend de la température permet, entre autres, d'accéder à un premier niveau de compréhension de quelques phénomènes météorologiques. L'équilibre thermique de la planète est en effet assuré par des déplacements d'air (le vent) et d'eau (les courants marins). Si ce domaine est difficile à appréhender à l'échelle de la planète, il se simplifie considérablement au plan local. Les mouvements d'air chaud et d'air froid dus à la différence de densité sont à l'origine des brises (brises de pente en montagne, brises de mer ou de terre au bord des grandes étendues d'eau) et du développement des nuages d'orage. Le brassage de l'eau des lacs résulte du même mécanisme. Ce sont ces phénomènes que nous proposons d'exploiter au plan pédagogique en respectant l'idée essentielle suivante : orchestrer le déroulement des activités pour que les élèves engagent une véritable réflexion intellectuelle.

III - LE CHOIX D'UNE DEMARCHE : L'IDEAL ET LA REALITE...

Dans le cas idyllique, les élèves rencontrent et formulent eux-mêmes un problème. Ils émettent des hypothèses, trouvent eux-mêmes les expériences qui permettront de les mettre à l'épreuve ; ils les réalisent ensuite concrètement, dégagent les conclusions pertinentes et formulent la solution au problème initial. Malheureusement, ce cas d'école... n'existe pas à l'école... En tous cas il est certainement très rare. Pourtant, ce n'est pas parce que l'idéal n'est pas réaliste qu'il ne faut pas chercher à l'approcher. Ce n'est pas parce qu'un sujet est difficile qu'il faut se réfugier dans des démarches purement expositives et refuser d'envisager des possibilités intermédiaires. Notre point de vue est le suivant. **Quelle que soit la difficulté du sujet traité, il y a lieu de rechercher les moyens de mettre les élèves en situation de recherche au moins à certains moments de la démarche.** Le sujet que nous choisissons de présenter ici est complexe. Nos propositions nécessitent, nous le verrons, certaines interventions fortes de l'enseignant. Sans doute peuvent-elles être améliorées. Nous pensons pouvoir montrer malgré cela que même un sujet relativement difficile peut être traité en donnant lieu à un investissement intellectuel important des élèves.

IV - QUESTIONNEMENT ET PREMIERES RECHERCHES

Le savoir scientifique, a-t-on rappelé au paragraphe 2, est un outil pour comprendre le monde. Il importe donc de dégager un problème dans lequel la classe va s'investir et qui constituera le fil directeur des différentes séances. Celui-ci doit être signifiant pour les élèves ce qui peut amener des observations préalables. Voici un exemple pour le sujet qui nous préoccupe.

Assurer quelque temps avant le début de l'activité des observations préalables de sportifs en vol libre (parapente, aile delta, planeur), ou de rapaces qui profitent de courants ascendants pour prendre de l'altitude. L'enseignant peut alors proposer le

problème : *comment peuvent-ils prendre de l'altitude sans moteur (vol libre) ou sans battements d'ailes (oiseaux) ?*

Comme chaque fois qu'un problème est posé, il est indispensable d'organiser un moment pendant lequel les élèves débattent et échangent leurs idées. Dans le cas présent, ils s'accordent assez vite pour invoquer, avec leur propre vocabulaire, les courants ascendants ("c'est du vent qui monte, qui souffle vers le haut"). Toutefois, personne n'a vraiment d'hypothèse pour expliquer leur origine... Une première intervention de l'enseignant est ici nécessaire pour débloquer la situation. Il propose de chercher, en premier lieu, des informations dans des documents. De nombreux livres de vulgarisation, plus ou moins adaptés à de jeunes enfants, traitent de ce sujet. Tous présentent des schémas comme ci-dessous.



Pendant la journée, les pentes sud sont plus chaudes que les vallées. L'air chaud s'élève. Il est remplacé par de l'air plus froid qui monte le long des pentes. Pendant la nuit, le fond des vallées est plus chaud que les pentes. C'est le phénomène inverse qui se produit.

Fig. 1

Les élèves cherchent, échangent par petits groupes et tentent de comprendre. Une contrainte de production peut s'avérer utile : élaborer une affiche pour expliquer ce qui a été trouvé. Cela facilite la mise en commun, les discussions et la synthèse qui doit pouvoir être formulée par les élèves : le Soleil chauffe davantage le sol à certains endroits ; l'air devenu plus chaud monte (ce qui entraîne les parapentistes ou les oiseaux) ; il est remplacé par de l'air plus froid.

Au cours de cette phase, l'investissement intellectuel des élèves est effectif. Devant un problème dont ils n'ont pas la solution, ils recherchent et utilisent une documentation. La contrainte de production impose un effort de clarification. L'activité scientifique fait également un grand usage de la recherche bibliographique. Il y a bien sûr des différences importantes. Le véritable chercheur ne trouve pas, en principe, la réponse à son problème dans la littérature scientifique. Il peut en revanche espérer un éclairage, une piste, une méthodologie ...

V - RECHERCHE D'EXPERIENCES

Comprendre dans les livres, c'est bien ! Mettre l'explication à l'épreuve d'une vérification expérimentale est une seconde étape tout à fait importante. L'un des objectifs majeurs de l'éducation scientifique est de rendre les élèves capables de concevoir un montage expérimental répondant à un objectif donné. On peut, dès l'école primaire, habituer les élèves à imaginer des expériences, à les essayer et à analyser au moins partiellement les éventuels échecs.

Nous proposons une recherche par groupes avec la consigne suivante : *imaginer une ou plusieurs expériences pour prouver que l'air chaud monte et que l'air froid descend.*

Deux sortes de difficultés sont à affronter. L'une est cognitive, l'autre matérielle.

La première idée des élèves est de fabriquer un dispositif susceptible de réagir aux mouvements de l'air. Ceux qu'ils proposent devront être améliorés pour avoir la sensibilité requise. Différents tâtonnements et quelques propositions de l'enseignant conduiront à une solution satisfaisante sur le plan technique, par exemple une petite guirlande formée d'un fil fin et de papier léger comme celui qu'on utilise pour emballer les bonbons ou les papillottes. Une autre solution, meilleure, on verra pourquoi, mais qui ne peut pas être imaginée par les élèves est de fabriquer une petite spirale en carton fin suspendue à un fil souple (voir figure ci-dessous).

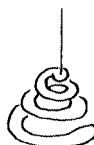


Fig. 2

Autre difficulté, plus essentielle : les élèves ne coordonnent pas les deux composantes explicatives. Pour que de l'air froid (ou chaud) se mette en mouvement, il faut en effet raisonner en considérant deux mouvements : un concernant l'air chaud, un autre relatif à l'air plus froid. La matière ne peut pas s'en aller de quelque part sans être remplacée par une autre substance³. Au contraire, les élèves cherchent spontanément à essayer leur dispositif en le plaçant dans de l'air froid (par exemple, en hiver, ils proposent de le mettre à l'extérieur), ou dans de l'air chaud⁴. Une nouvelle intervention forte de l'enseignant permet de débloquer la situation. Un retour aux schémas des livres (mouvements ascendants et descendants sont figurés) et une analogie permettent de mieux comprendre. Lorsqu'une bouteille d'eau est placée goulot vers le bas, l'eau s'échappe vers le bas et simultanément de l'air pénètre et monte vers le haut. Si le bouchon de la bouteille est percé d'un tout petit trou, il arrive que l'orifice soit trop petit pour laisser passer simultanément l'eau (vers le bas) et l'air (vers le haut).



À gauche, l'eau se vide pendant que l'air pénètre dans la bouteille.

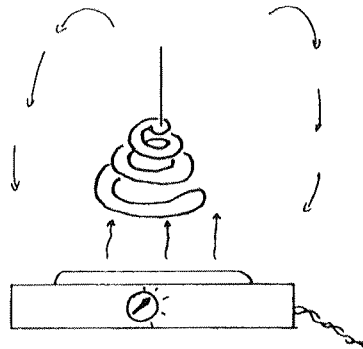
Le bouchon de la bouteille de droite est percé d'un tout petit trou : la bouteille ne se vide pas.

Fig. 3

³ - Cette affirmation fait évidemment abstraction de quelques dispositifs techniques comme les pompes à vide..

⁴ - C'est pour cette raison qu'il vaut mieux une spirale qu'une guirlande. En effet, cette dernière s'agit au moindre petit courant d'air, alors que la spirale ne détecte qu'un mouvement d'air vertical.

Finalement, après tâtonnements expérimentaux, retours en arrière, analogies, on parvient à une expérience satisfaisante telle que ci-dessous. Elle est schématisée et légendée de façon à représenter les courants ascendants et descendants⁵.



*L'air chaud s'élève au-dessus de la plaque chauffante
et redescend à la périphérie (ce qu'on a du mal à montrer expérimentalement).*

Fig. 4

VI - LES MEMES PHENOMENES DANS LE CAS DE L'EAU

Puisque c'est un fluide, l'eau se comporte de la même manière que l'air. Pour visualiser ses mouvements, on colore l'eau chaude (ou l'eau froide cela dépend de la situation) avec de l'encre. Les expériences réalisables, quoique toutes fondées sur le même principe, sont nombreuses (voir annexe). Nous proposons une technique pédagogique inspirée de la didactique des mathématiques qui consiste à mettre les élèves en face de défis successifs.

On présente (sans la réaliser) une première expérience. Les élèves doivent faire une prévision argumentée sur ce qui va se passer. L'expérience est faite dans un second temps. En cas de difficulté ou d'erreur dans les prévisions, une discussion s'engage.

Une seconde expérience est proposée. De la même manière que précédemment les élèves réfléchissent, font une prévision, l'argumentent. La vérification intervient ensuite.

On procède ainsi autant de fois que nécessaire (les expériences ne manquent pas ; si l'on compte les contre-expériences, cela fait plus de dix situations à proposer).

Ce procédé pédagogique présente les intérêts suivants. C'est l'expérience et non le maître qui valide les prévisions des élèves. Ceux qui se trompent ont de nouveaux défis à relever dans des situations voisines. Quant à ceux qui ont compris, ils éprouvent une réelle satisfaction en constatant que leur prévision est confirmée par l'expérience.

Nous voudrions terminer ce paragraphe par une remarque concernant l'organisation matérielle. Le déroulement que nous venons de proposer semble suggérer des expériences magistrales. Il nous faut une nouvelle fois faire la part de ce qui est souhaitable et de ce qui est réaliste. Le matériel nécessaire à ces expériences est simple et peu onéreux. En revanche il est disparate et volumineux ce

⁵ - Bien entendu, on trouvera toujours un élève pour vouloir mettre en évidence le courant descendant comme on a fait avec le courant ascendant... Malheureusement, ce n'est pas possible avec ce dispositif. En revanche le paragraphe qui suit propose des expériences similaires réalisées avec de l'eau dans lesquelles cela sera visible.

qui complique la préparation matérielle dans l'hypothèse de manipulations réalisées par les élèves. Au cours de chaque expérience, l'eau colorée se mélange à l'eau claire. Il faut donc en changer après chaque manipulation. De nombreuses classes ne disposent pas d'un point d'eau à proximité immédiate, sans compter le risque qu'occasionnent les déplacements avec des cuvettes pleines... Nous ne plaçons pas pour des expériences exclusivement magistrales, mais nous sommes conscients que certaines conditions matérielles peuvent être prohibitives. Le déroulement ci-dessus propose une nouvelle fois une solution intermédiaire. Certes, seul l'enseignant manipule. Mais, les enseignants ayant testé ce procédé pédagogique en témoigneront, l'investissement intellectuel des élèves est profond et la participation effective frise les 100 %. Cela dit, plusieurs organisations permettent néanmoins de faire réaliser certaines expériences par les élèves. Certaines écoles disposent d'une salle avec point d'eau (cantine, cuisine, ...). En période printanière, l'activité peut avoir lieu dehors. Il faudra accepter quelques allers et venues avec des bidons (l'écart de température entre l'eau chaude et l'eau froide tirées d'un lavabo suffit) et de vider les cuvettes dans un coin de la cour...

VII - RETOUR AU PROBLEME INITIAL, STRUCTURATION, DECON-TEXTUALISATION

Les activités évoquées dans les paragraphes 5 et 6 ont été longues et réparties sur plusieurs séances. Il est temps de revenir aux phénomènes météorologiques, point de départ et fil directeur de notre démarche. Les élèves font une seconde lecture des documents initiaux. Grâce aux récents acquis, la compréhension est plus profonde. Ils sont en mesure d'une part de rédiger une trace écrite⁶ explicative du phénomène, d'autre part de s'investir dans la compréhension (éventuellement partielle) d'autres phénomènes que nous présentons ci-dessous.

Mais auparavant, il nous faut préciser que nous ne les indiquons pas à titre d'information pour le lecteur désireux en savoir plus, mais pour un motif plus essentiel : entraîner l'élève à mobiliser son nouveau savoir dans des contextes variés. Il ne s'agit pas d'un simple réinvestissement, mais de faire percevoir l'étendue et l'utilité du savoir qui vient d'être élaboré. C'est à ce prix qu'il deviendra stable et durable. Il est de la responsabilité des enseignants de l'envisager comme partie intégrante de la démarche.

A - LES NUAGES D'ORAGE

À partir d'un document tel que celui qui est présenté ci-contre, les élèves retrouvent dans la dynamique du cumulo-nimbus les mouvements ascendants de l'air chaud et descendants de l'air froid. Rien n'interdit, en liaison avec quelques expériences d'électrisation par frottement, d'expliquer par analogie que l'apparition d'électricité statique dans le nuage résulte des frottements des gouttes d'eau et des morceaux de glace (les grêlons) contre l'air. Mais c'est un autre sujet que nous ne développerons pas ici.

⁶ - Nous ne développons pas ici notre conception de la trace écrite. Précisons toutefois qu'elle n'est pas un résumé rituel que les élèves recopient et qui, généralement, ne transite même pas par leur tête... Une trace écrite, selon nous, est le produit d'une activité de l'élève (ou d'un groupe d'élèves) l'obligeant à coordonner les contraintes de l'écrit et celles des sciences. Vue sous cet angle, elle permet à la fois d'enrichir la pratique d'écriture des élèves (texte explicatif) et, par le retour qu'elle impose sur sa démarche, elle peut conduire à un niveau d'intégration plus solide des concepts en jeu.

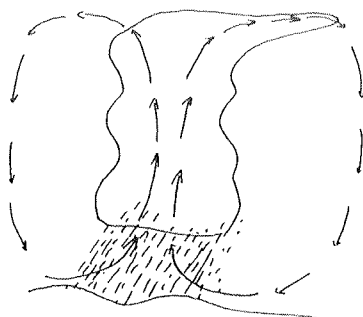


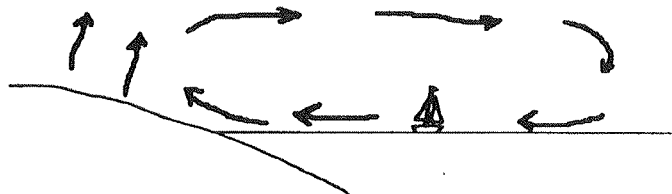
Fig. 5

B - LES FRONTS CHAUD ET FROID EN METEOROLOGIE

Lorsqu'une masse d'air chaud rencontre une masse d'air froid (ou l'inverse), il n'en résulte pas de l'air tiède... Cela tient à ce que l'air chaud se retrouve toujours au-dessus de l'air froid. Un des concepts clé de la météorologie est celui de front. On distingue le front chaud (de l'air chaud remplace de l'air froid), et le front froid (inversement, de l'air froid chasse de l'air chaud). Les phénomènes qui en résultent sortent de la limite assignée à cet article mais, ils peuvent être abordés en fin de primaire puisque les connaissances qui interviennent (évaporation, condensation, rôle de la chaleur), sont en principe disponibles.

C - LES BRISES MARITIMES

Le phénomène est identique aux brises de pente en montagne. La journée, l'ascendance se fait au-dessus de la terre, plus chaude que l'eau. La brise vient donc de la mer. La nuit, le phénomène inverse se produit.



La journée la brise vient de la mer

Fig. 6

D - LES MOUVEMENTS DE CONVECTION DANS LES LACS

En été, l'eau de surface forme une couche chaude et stable (voir le premier paragraphe de l'annexe). En automne puis en hiver, elle se refroidit. Il arrive un moment où sa température devient inférieure à celle des eaux plus profondes. Des mouvements de convection se déclenchent. L'eau inférieure devenue plus chaude remonte, et l'eau de surface descend.

CONCLUSION

Nous avons abondamment plaidé dans ce texte pour l'activité intellectuelle des élèves. Il serait souhaitable de se pencher davantage sur la signification de cette expression, tant elle recouvre des pratiques diverses et souvent incompatibles. Pour l'heure, contentons-nous de résumer les moments de la démarche dans lesquels les élèves ont eu à s'engager intellectuellement.

- Recherche documentaire pour trouver une explication à un phénomène.
- Recherche d'une expérience pour mettre à l'épreuve une explication.
- Anticipation sur le résultat d'une expérience.
- Mobilisation du savoir acquis pour expliquer de nouveaux phénomènes.

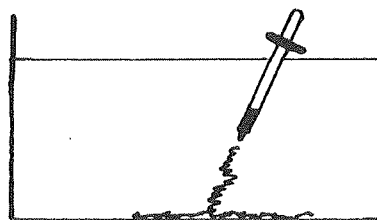
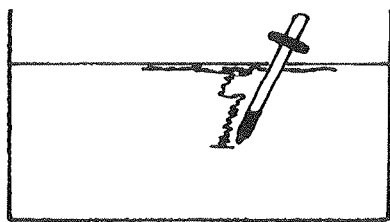
Ces idées sont bien sûr générales et transposables à d'autres situations.

ANNEXE : QUELQUES EXPERIENCES

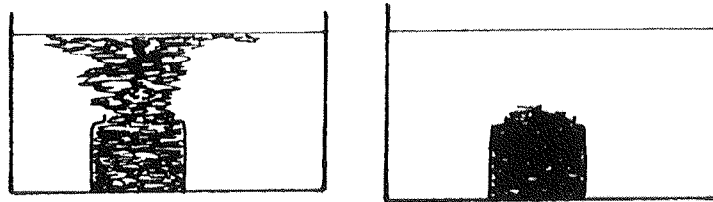
Nous proposons ici quelques expériences simples, assorties, lorsque c'est nécessaire, de quelques conseils expérimentaux.

1. Prendre tout simplement la température d'une pièce un jour où le chauffage fonctionne. Il y a plusieurs degrés d'écart entre le sol et le plafond. Se méfier du brassage de l'air. Ne pas procéder à la mesure après aération de la pièce ou après l'arrivée des élèves. Il est peu probable qu'une mesure du même ordre puisse être réalisée en contexte scolaire dans un lac, d'une part parce qu'il faut que l'eau soit chaude, d'autre part à cause des contraintes relatives aux sorties scolaires... Le phénomène doit néanmoins être évoqué. On peut penser qu'il est connu de tous les élèves qui ont la chance d'aller se baigner l'été.

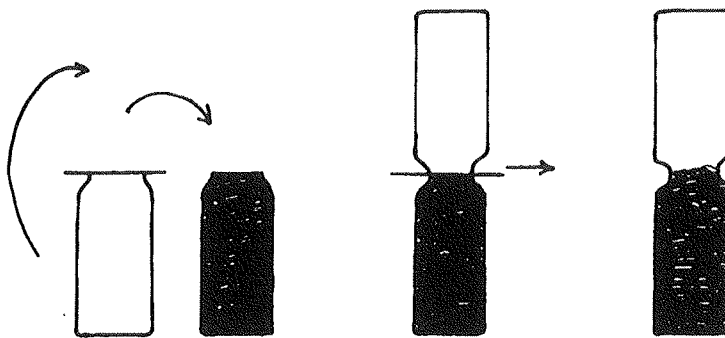
2. Mettre de l'eau froide dans une cuvette et préparer, à part, de l'eau chaude colorée avec de l'encre. En prélever au compte-goutte et l'injecter délicatement à mi-profondeur dans l'eau froide. L'eau chaude colorée remonte nettement en surface (figure de gauche). Penser à la contre-expérience : de l'eau froide colorée injectée à mi-hauteur dans de l'eau chaude descend au fond du récipient (figure de droite).



3. Dans le même registre, mettre de l'eau chaude colorée dans un "petit pot de bébé", le plonger au fond d'une bassine d'eau froide et l'ouvrir. L'eau chaude s'échappe immédiatement de son bocal, remonte en surface, et envahit progressivement la cuvette (figure de gauche). On pourrait penser que les gestes réalisés sous l'eau pour déposer et ouvrir le petit pot sont à l'origine du brassage. La contre-expérience (eau chaude dans la cuvette et eau froide colorée dans le petit pot) vient démentir cette hypothèse : la situation reste bloquée (figure de droite).

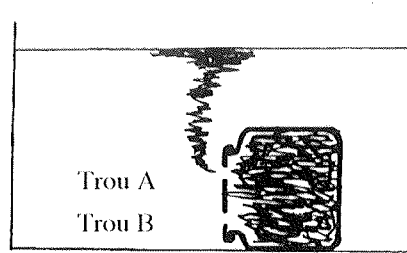


4. Une variante de l'expérience précédente consiste à remplir un biberon d'eau chaude et à le retourner sur de l'eau froide colorée. Pour cela poser une feuille de papier sur l'ouverture du biberon rempli "à ras-bord". Retourner le biberon. La feuille de papier suffit à empêcher l'eau de tomber. Placer le biberon ainsi retourné sur celui qui contient l'eau froide colorée. Terminer en tirant la feuille de papier. Il faut ici se faire aider. Une personne tient le biberon de dessous. La même personne s'occupe du papier à enlever et du biberon supérieur à retenir. Il arrive qu'on ait à s'y reprendre à plusieurs fois, d'où la nécessité de procéder en un lieu qui tolère la fausse manœuvre (au-dessus d'une cuvette ou dans la cour de récréation...).



Le résultat est net. Dans le cas évoqué ici la situation est bloquée. Dans le cas de la contre-expérience (eau chaude colorée dans le biberon inférieur), le mélange est instantané (nous n'avons pas représenté la figure).

5. Un petit pot contient de l'eau chaude colorée. Il est fermé par un couvercle dans lequel deux trous ont été faits (à l'emporte-pièce, avec un gros clou). Placé dans une cuvette d'eau froide, on voit monter un filet d'eau chaude. Simultanément, de l'eau froide pénètre par l'autre trou (on ne le voit pas car le filet d'eau incolore est situé au centre du bocal, donc masqué par l'eau colorée qui fait écran).



Plusieurs contre-expériences sont à envisager : faire pivoter le pot pour que les trous A et B soient sur la même horizontale. La situation se bloque. Continuer la rotation pour que le trou B se retrouve en haut. Le filet d'eau colorée s'échappe toujours par le trou supérieur.

Si maintenant on place de l'eau froide colorée dans le petit pot et de l'eau chaude dans la cuvette, c'est par le trou inférieur que sort l'eau colorée. Elle se répand au fond du récipient ...

6. Préparer préalablement des glaçons colorés (toujours avec de l'encre), et placer l'un d'eux dans de l'eau chaude ou tiède. Il fond et l'eau colorée se répand au fond du récipient (figure de gauche). La contre-expérience nécessite de faire refroidir de l'eau avec une bonne quantité de glaçons non colorés. Un dernier glaçon, cette fois coloré, est ensuite ajouté. Il fond bien sûr beaucoup moins vite, et l'eau reste au voisinage de la surface ou tout au moins ne se répand pas instantanément vers le bas de la cuvette (figure de droite).

