

Raisonnements naturels en hydrodynamique

Christiane Blondin, Jean-Louis Closset, Dominique Lafontaine

Résumé

L'étude vise à décrire les notions et les raisonnements mis en œuvre face à des problèmes d'hydrodynamique par des étudiants sans formation spécifique dans ce domaine (novices, 52 sujets), et à évaluer la stabilité de leur approche en analysant les réponses de sept sujets expérimentaux avant et après une phase d'apprentissage des principales notions concernées.

Face à un questionnaire écrit, portant sur les valeurs relatives de différents paramètres (aucun calcul n'est requis), on observe chez les novices des concepts différents de ceux des physiciens, ainsi que des raisonnements dits naturels, non systémiques, analogues à ceux qui sont décrits à propos des circuits électriques (raisonnements local, séquentiel et à débit constant). L'approche des novices est peu efficace, en particulier face aux problèmes qui exigent une approche systémique. Après la phase d'apprentissage, par contre, les sujets expérimentaux atteignent un taux de réussite nettement supérieur, différencient et intègrent mieux des concepts tels que le débit et la vitesse ; face à nos questions, des raisonnements systémiques apparaissent, mais trois ou quatre sujets continuent à se fonder sur des raisonnements naturels.

Citer ce document / Cite this document :

Blondin Christiane, Closset Jean-Louis, Lafontaine Dominique. Raisonnements naturels en hydrodynamique. In: Revue française de pédagogie, volume 100, 1992. pp. 71-80;

doi : <https://doi.org/10.3406/rfp.1992.1320>

https://www.persee.fr/doc/rfp_0556-7807_1992_num_100_1_1320

Fichier pdf généré le 24/12/2018

Raisonnements naturels en hydrodynamique ⁽¹⁾

Christiane Blondin
Jean-Louis Closset
Dominique Lafontaine

« Ils n'ont pas réfléchi au fait que l'adolescent arrive dans la classe de physique avec des connaissances empiriques déjà constituées : il ne s'agit pas d'acquérir une culture expérimentale, mais bien de changer de culture expérimentale, de renverser les obstacles déjà amoncelés par la vie quotidienne »

(Bachelard, 1938, cité par Giordan et al., 1983)

L'étude vise à décrire les notions et les raisonnements mis en œuvre face à des problèmes d'hydrodynamique par des étudiants sans formation spécifique dans ce domaine (novices, 52 sujets), et à évaluer la stabilité de leur approche en analysant les réponses de sept sujets expérimentaux avant et après une phase d'apprentissage des principales notions concernées.

Face à un questionnaire écrit, portant sur les valeurs relatives de différents paramètres (aucun calcul n'est requis), on observe chez les novices des concepts différents de ceux des physiciens, ainsi que des raisonnements dits naturels, non systémiques, analogues à ceux qui sont décrits à propos des circuits électriques (raisonnements local, séquentiel et à débit constant). L'approche des novices est peu efficace, en particulier face aux problèmes qui exigent une approche systémique. Après la phase d'apprentissage, par contre, les sujets expérimentaux atteignent un taux de réussite nettement supérieur, différencient et intègrent mieux des concepts tels que le débit et la vitesse ; face à nos questions, des raisonnements systémiques apparaissent, mais trois ou quatre sujets continuent à se fonder sur des raisonnements naturels.

1. INTRODUCTION

L'étude des représentations scientifiques ou pseudo-scientifiques des élèves et des étudiants fait l'objet de l'essentiel de la production scientifique en didactique de la physique depuis près de vingt ans. Deux grandes tendances se dégagent

de la littérature (Pfundt et Duit, 1991) : les études de conceptions, s'intéressant plus à la représentation de l'objet concerné ou à son « modèle », comme ce fut par exemple le cas de certains travaux relatifs au circuit électrique (Ben Hamida, 1980 ; Von Röneck et Völker, 1985), et les études privilégiant un axe plus transversal, celui des rai-

sonnements. Ceux-ci sont décrits comme possédant tout à la fois des composantes liées au contenu et des composantes plus générales qui, transcendant les caractéristiques locales des problèmes, permettent de les retrouver dans d'autres champs de la physique, voire d'autres disciplines scientifiques. Le premier séminaire national de recherche en didactique des sciences physiques en France (1991) a consacré l'importance dominante de cette tendance. Parmi les travaux les plus significatifs à propos des raisonnements, citons ceux de Viennot (1979) et Saltiel (1978) en mécanique, celui de Maurines (1986) à propos des ondes mécaniques et celui de Rosier (1987) en thermodynamique.

En électrocinétique, domaine qui présente une grande analogie formelle avec l'hydrodynamique, Closset (1983 ;1989) a principalement mis en évidence deux formes de raisonnement qui se substituent à un raisonnement correct à propos du circuit électrique. Il s'agit du raisonnement séquentiel et du raisonnement à courant constant, que l'auteur considère tous deux comme des formes particulières d'un raisonnement linéaire causal également mis en évidence par Rosier (1987) en thermodynamique. Dans le raisonnement séquentiel, tout se passe comme si le courant quittait la pile à débit constant, déterminé par les seules caractéristiques de celle-ci, pour s'élancer dans le circuit et se modifier localement en fonction des obstacles rencontrés sans influence de l'aval sur l'amont. Dans le raisonnement à courant constant, le débit initial constant n'est plus modifié dans l'espace, mais ne l'est pas davantage dans le temps, en particulier lorsqu'une modification du circuit intervient.

Joshua (1982), à l'occasion d'une étude de l'utilisation du schéma en électrocinétique, évoque l'utilisation par les élèves et les étudiants de la métaphore du fluide en mouvement et Bensegghir (1989) met en évidence, tant au plan historique que dans les raisonnements des étudiants, l'existence d'un raisonnement « électrostatique », fortement lié à des tendances substantialistes, et dont il montre qu'il va parfois de pair avec un raisonnement séquentiel.

Le présent article porte sur les raisonnements des sujets en hydrodynamique. Pour rappeler que ces raisonnements préexistent à tout enseignement ou se développent en interaction avec celui-ci sans en faire l'objet, nous les qualifierons de « naturels », sans que l'emploi de cet adjectif préjuge en rien de leur origine.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1. Le questionnaire écrit

Dans le cadre d'une comparaison des stratégies de résolution de problèmes mises en œuvre par des novices et des experts (voir Blondin, à paraître ; Lafontaine, Blondin et Closset, 1990 ; Lafontaine et al., à paraître), un questionnaire a été mis au point dans le but d'étudier les raisonnements naturels dans le domaine de l'hydrodynamique.

Ce questionnaire porte principalement sur des notions essentielles à la résolution de problèmes en hydrodynamique. Les questions concernent des situations du type suivant : un *circuit fermé*, situé dans un plan horizontal, comporte une *pompe*, qui assure la *circulation* de l'eau, et des dispositifs qui occasionnent des *pertes de charge* (rétrécissements des tuyaux) ; les éléments sont placés en *série* ou en *parallèle*.

La forme des questions est standardisée. Chaque situation-problème est décrite en quelques lignes et représentée par un schéma. Ensuite, deux à trois questions à choix multiple invitent les sujets à indiquer la valeur relative d'un paramètre en différents endroits du circuit ou à différents moments. Aucun calcul n'est nécessaire. Nous faisons, en effet, l'hypothèse qu'une réponse qualitative est plus révélatrice des connaissances et des raisonnements des sujets que la manipulation de grandeurs, guidée partiellement et organisée par des algorithmes plus ou moins maîtrisés et par des règles plus mathématiques que physiques. Après chaque question à choix multiple, les sujets sont invités à justifier leur réponse en donnant un maximum de détails.

Les questions portent sur les valeurs de débits et de différences de pression créées par la pompe, dans différentes conditions : rétrécissement d'une partie du circuit, distribution du flux entre deux branches parallèles, et accélération de la vitesse de rotation de la pompe, principalement. Cependant, dans le but d'alléger le texte, nous ne présenterons les réponses de façon détaillée qu'à propos de deux séquences de questions relatives au débit en différents points d'un circuit en série et à l'influence sur ce débit d'une augmentation des pertes de charge.

2.2. Les sujets

Ci-après, nous présentons les résultats de deux types de sujets :

Des novices

Cinquante-deux étudiants de 1^{re} candidature en psychologie, âgés de 17 ans 11 mois à 25 ans 8 mois (mode : 18 ans) et qui n'ont jamais reçu de formation systématique dans le domaine de l'hydrodynamique, constituent le groupe des novices.

Des sujets expérimentaux

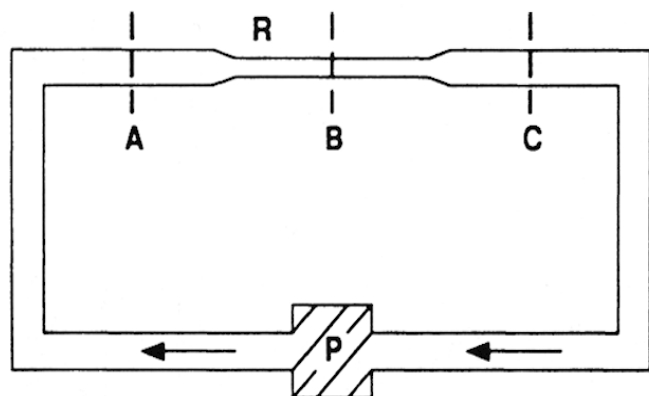
Parmi ces novices, 7 volontaires (5 étudiantes et 2 étudiants) ont été soumis à une procédure expérimentale comportant un prétest (questionnaire et résolution de problèmes sur circuit réel), un apprentissage, et enfin un post-test identique au prétest. L'apprentissage comportait trois séances au cours desquelles les sujets, par groupes de deux ou de trois, recevaient un enseignement des principes de l'hydrodynamique s'appuyant sur l'observation des effets de diverses manipulations effectuées sur des circuits réels simplifiés et sur les interactions verbales entre les sujets. Ensuite, chaque sujet était invité à résoudre des problèmes similaires simulés sur ordinateur, sans aide de l'expérimentateur, pendant à peu près une heure. Dans la plupart des cas, un délai d'une semaine séparait deux séances de travail.

Les réponses des sujets expérimentaux en début et en fin de procédure font l'objet d'une comparaison destinée à jeter un éclairage sur les potentialités évolutives des représentations et raisonnements des novices.

3. RÉSULTATS

3.1. Le débit en différents points d'un circuit en série

Le schéma ci-dessous est proposé aux sujets :



Dans le circuit hydraulique ci-dessus, P est une pompe qui assure la circulation de l'eau dans le circuit. Celui-ci est horizontal. Le sens de circulation de l'eau est indiqué par les deux flèches.

Ils sont invités à comparer les débits (appelés « quantité d'eau qui passe par seconde ») en A et en B, puis en B et en C. Ces débits sont égaux, en fonction de l'équation de continuité dans le cas d'un fluide incompressible : il n'y a pas de possibilité d'accumulation.

Réponses des novices

• Quatorze sujets sur 52 seulement affirment que les débits mesurés en A, B et C sont égaux et fournissent ainsi une réponse correcte compatible avec la **constance du débit** en tout point d'un circuit en série (l'influence du rétrécissement s'exerce sur le débit unique qui caractérise chaque circuit).

Type de réponses	Réponse relative aux débits en A, B et C	Nombre de novices (n = 52)
1 (2)	$A = B = C$	14
2 (1)	$A > B < C$	19
3	$A > B = C$	7
4	$A > B > C$	2
5	$A < B > C$	5
6	$A < B = C$	3
7	$A < B < C$	2

(1) Dans les tableaux de résultats, les renseignements relatifs à la **réponse correcte** sont dactylographiés en **italiques** et ceux relatifs à la **réponse la plus fréquente**, en **caractère gras**.

• L'avis dominant, parmi nos sujets, est que le débit est plus faible dans le rétrécissement (B) qu'en amont (A) ou en aval (C) de celui-ci : ces sujets considèrent que le rétrécissement est le lieu d'une **diminution purement locale du débit** (réponse 2 : 19 sujets) : « Car le diamètre en B étant plus étroit, le débit de l'eau diminue (résistance accrue) ». Ces réponses correspondent à un type de raisonnement naturel appelé **raisonnement local** : dans un circuit fermé, qu'il soit électrique ou hydraulique, le raisonnement local consiste à considérer que des actions ou des modifications opérées sur le circuit (par exemple, fermer une vanne ou augmenter une résistance) n'engendrent qu'un effet local, à l'endroit même ou aux alentours immédiats de l'endroit où l'on agit.

• Pour 7 autres sujets, le rétrécissement s'accompagne également d'une réduction du **débit** en B, mais ce dernier **conserve cette valeur réduite** en C (réponse 3). Les commentaires qui accompa-

gnent ces réponses de types 2 et 3 évoquent le plus souvent une notion de *résistance* (frottement, frein, augmentation de pression, ...). Ces deux types de réponses sont caractéristiques du **raisonnement séquentiel**, déjà bien connu dans le domaine de l'électricité (Closset, 1983 & 1989) : ce raisonnement consiste à suivre le débit (ou le courant dans le cas du circuit électrique) à partir de la source de tension (la pompe, ou la pile), et à considérer que les différents « obstacles » (rétrécissements, résistances) sur le chemin du courant n'ont pas de retentissement en amont de l'endroit où ils se trouvent.

- Un plus petit nombre de sujets affirment, au contraire, que le **débit est plus élevé dans le rétrécissement** (en B) qu'en amont de celui-ci. Cinq d'entre eux considèrent que l'influence du rétrécissement est **purement locale** et que le débit en C est plus faible qu'en B (réponse 5), les autres estiment que le débit, augmenté au niveau du rétrécissement, **se maintient** en aval de celui-ci à la même valeur (réponse 6, 3 sujets). Les commentaires de ces réponses tendent à montrer que la plupart de ces sujets attribuent au débit certaines propriétés de la *vitesse* : « Q/s en A < Q/s en B. La quantité d'eau reste constante dans le circuit, le passage est plus large en A qu'en B, la quantité d'eau qui doit passer en A et en B est égale, donc le débit sera plus rapide en B qu'en A. »

*Qu'ils considèrent que le rétrécissement correspond à un débit plus faible (26 sujets, réponses 2 et 3) ou plus élevé (8 sujets, réponses 5 et 6), et que sa modification est purement locale (24 sujets, réponses 2 et 5) ou permanente (raisonnement séquentiel proprement dit ; 10 sujets, réponses 3 et 6), 34 sujets au moins (soit 65 %) au total raisonnent ici de façon de toute évidence non systémique : ils affirment que le **rétrécissement influence le débit, mais pas en amont de l'endroit où il se trouve.***

Réponses des sujets expérimentaux

En ce qui concerne les questions fermées, cinq sujets sur sept fournissent la réponse correcte lors du post-test, contre 2 seulement au prétest. Les 2 réponses erronées au post-test sont du type de la réponse la plus fréquente observée au prétest (raisonnement local : le débit est réduit localement à hauteur du rétrécissement).

Quels sont les fondements des réponses correctes ? Dès le prétest, les réponses correctes

s'accompagnent d'une affirmation de la constance du débit : il faut « (...) évacuer au total la même quantité d'eau (...) » ou « (...) assurer la régularité du circuit (...) » Au post-test, les 5 sujets évoquent la constance du débit ; 2 d'entre eux développent un raisonnement par l'absurde parfaitement correct : si le débit n'était pas constant, il y aurait des « trous » ou un « gonflement », et une « explosion » ; un autre précise que la constance du débit est liée à la situation présentée.

3.2. Le débit en différents points d'un circuit en série, après augmentation des pertes de charge

Trois questions concernent la liaison entre débit et pertes de charges : dans un circuit en série, le débit est inversement proportionnel aux pertes de charge, principalement dues aux obstacles et aux rétrécissements, toutes autres choses restant égales par ailleurs.

Le schéma du circuit précédent est rappelé, mais le rétrécissement est cette fois nettement accentué, comme le commentaire le souligne clairement : « Dans le même circuit, par un procédé quelconque, on rend le rétrécissement R encore plus étroit ». Les sujets sont alors interrogés sur l'évolution du débit en A (amont du rétrécissement), en B (rétrécissement) et en C (aval du rétrécissement).

Type de réponse	Comparaison avec le débit mesuré au même endroit avant qu'on accentue le rétrécissement (1)			Nombre de novices (n = 52)
	En A	En B	En C	
1	—	—	—	10
2	=	=	=	9
3	=	—	—	14
4	=	—	=	5
5	=	+	+	1
6	=	+	=	4
7	=	=	+	1
8	+	—	—	2
9	+	—	=	1
10	+	—	+	1
11	—	—	+	1
12	—	=	=	2
13	—	+	+	1

(1) Dans ce tableau : + signifie que le débit après accentuation du rétrécissement est **supérieur** au débit mesuré auparavant ; = signifie que le débit après accentuation du rétrécissement est **égal** au débit mesuré auparavant ; — signifie que le débit après accentuation du rétrécissement est **inférieur** au débit mesuré auparavant.

Réponses des novices

● Face à un circuit identique au précédent, sauf en ce qui concerne le diamètre de la partie rétrécie qui a encore été réduit, **un cinquième** seulement des sujets fournissent la réponse correcte et affirment que le **débit est réduit aux différents endroits** du circuit (réponse 1, 10 sujets).

Comment les autres sujets traitent-ils cette question des pertes de charge ?

● Près de la moitié des sujets affirment que le **débit en A** n'est pas **modifié**, mais connaît une **augmentation ou une diminution en B** (réponses 3 à 6, 24 sujets au total). Le *caractère séquentiel* de certaines de ces réponses apparaît très clairement dans des commentaires tels que « le rétrécissement de B n'a aucun impact sur la quantité d'eau qui passera en A puisque B est situé après A et que la pompe régularise le débit d'eau ».

Au sujet du débit en aval de A, on retrouve les mêmes grandes catégories de réponses qu'aux questions précédentes. Si la majorité considèrent que **B** connaît une **diminution de débit** (réponses 3 et 4, 19 sujets) liée le plus souvent à une « *résistance* » accrue, d'autres affirment au contraire que le débit en B sera **supérieur** à sa valeur antérieure (réponses 5 et 6, 5 sujets) ; certains des commentaires accompagnant ces dernières réponses indiquent une utilisation, inductrice d'erreur, de notions telles que la *pression* (2) (« Le débit en B est plus grand car la pression qui s'exerce sur une section droite du tube B est plus grande que dans le premier cas. La pression étant le rapport d'une force par une surface ($P = E/S$), la force s'exerce dans le deuxième cas sur une surface plus petite. La pression est donc plus grande et par conséquent, le débit aussi ») ou la *vitesse* (« Une même quantité d'eau doit passer dans un espace réduit → sa vitesse augmente → quantité d'eau par seconde ↗ »).

En aval du rétrécissement, 15 sujets estiment que la modification apportée au débit en B **subsiste** (réponses 3 et 5), tandis que 9 considèrent que le débit retrouve la valeur qu'il avait dans la **situation précédente** (réponses 4 et 6).

● Quatre sujets affirment que le **débit en amont** du rétrécissement est **plus élevé** que dans la situation précédente. Certains de leurs commentaires semblent indiquer qu'à leurs yeux, cette augmentation du débit est liée à un phénomène d'*accumulation* : « Etant donné qu'une quantité

ne pourra passer immédiatement dans B, cette quantité restera plus longtemps dans A », « (...) plus d'eau reste "calée" dans A ».

Pour 9 sujets, la modification du rétrécissement reste **sans conséquence** sur le débit (réponse 2). Ces sujets semblent mettre en œuvre un raisonnement naturel appelé **raisonnement à débit (courant) constant**, qui consiste à considérer que chaque circuit se caractérise par une valeur du débit (ou du courant), indépendamment des modifications éventuelles des autres paramètres (différence de pression ou de potentiel, « résistances », ...).

Une analyse transversale des réponses nous éclaire sur ce phénomène : on constate qu'**aucun novice ne réussit simultanément les séries d'items** portant, l'une sur la constance du débit dans un circuit série et l'autre sur la diminution généralisée du débit consécutive à une augmentation des pertes de charges (rétrécissements plus accentués). Réciproquement, tous les sujets qui affirment erronément la **constance du débit** malgré une augmentation des pertes de charge reconnaissent la constance du débit dans un **circuit en série** (3).

Tout se passe donc comme si les sujets appliquaient **de façon abusive une même règle aux deux situations** : l'accélération de la vitesse de déplacement des particules dans les rétrécissements, que ces 9 sujets maîtrisent tous (voir ci-après), assure la constance du débit ... en toutes circonstances (surgénéralisation).

En résumé, confrontés à des questions relatives à l'influence des pertes de charge sur le débit, la majorité des sujets raisonnent de façon locale ou séquentielle ; l'ampleur du rétrécissement conduit certains à évoquer une accumulation du fluide en amont du rétrécissement.

Il apparaît également que, chez nos sujets, l'affirmation de la constance du débit dans un même circuit en série est incompatible avec la reconnaissance de la diminution généralisée du débit liée à l'augmentation des pertes de charge.

Réponses des sujets expérimentaux

Trois sujets sur sept seulement fournissent la bonne réponse aux questions fermées du post-test, contre 1 à celles du prétest. La **dispersion** des choix reste grande (4 profils de réponse différents au post-test). Alors qu'au prétest, un seul

sujet affirmait erronément la constance du débit dans le temps, deux sujets fournissent cette réponse lors du post-test.

Le seul sujet qui, au prétest, a sélectionné les réponses correctes a fourni une explication non systémique et partiellement séquentielle, même si elle fait place à des effets « à distance » de la modification apportée au circuit : il considère qu'à défaut d'une compensation du rétrécissement par un accroissement de pression, le débit en B est diminué ; en A, le débit doit être également réduit sous peine de subir un refoulement et C ne reçoit que le débit réduit par le rétrécissement.

Lors du post-test, les justifications semblent correspondre à une **conception systémique** du circuit : « Vu que la différence de pression est restée constante aux bornes de la pompe, et que la R du circuit a augmenté, le débit a diminué. Car l'eau passe plus difficilement ».

Nous avons mis en relation, comme pour la population des novices, les réponses des sujets expérimentaux aux questions relatives à la constance du débit dans un même circuit en série et à la réduction du débit consécutive à l'augmentation des pertes de charge : alors qu'aucun des 52 « novices » ne réussissait simultanément ces 2 séries d'items, au post-test, 2 sujets répondent correctement aux 2 situations. Tout se passe comme si ces sujets avaient intégré et appris à **articuler deux points de vue** (« le débit est identique en tout point d'un circuit en série » et « l'accroissement d'un rétrécissement provoque une diminution du débit ») en distinguant l'effet global et l'effet local du rétrécissement.

3.3. La notion de débit

Les raisonnements naturels des novices

Lors de l'examen des réponses à chaque question, la fréquence de certains raisonnements naturels a été soulignée. Mais les réponses interprétées comme le produit de raisonnements naturels ne sont-elles pas dues, simplement, au hasard (sélection aléatoire parmi les réponses proposées) ?

Pour mettre à l'épreuve cette hypothèse, nous avons comparé la fréquence d'apparition des principaux types de réponses avec leur probabilité d'apparition théorique, calculée en supposant que le choix parmi les réponses proposées est purement aléatoire et donc que toutes réponses ont la même probabilité d'être sélectionnées.

Pour chacune des trois séquences de questions relatives au débit, nous avons classé les séquences possibles en cinq catégories, selon le type de raisonnement auquel elles semblent correspondre. Nous avons ensuite calculé les résidus généralisés, en comparant l'effectif théorique de chacune des catégories avec l'effectif observé correspondant (4).

Cette analyse montre que les novices, bien que « naïfs » par rapport aux notions théoriques en jeu, n'ont pas choisi au hasard parmi les réponses proposées, mais au contraire ont mis en œuvre des raisonnements particuliers. Dans chacune des trois séquences, la fréquence des réponses « Autres » est significativement inférieure à celle qu'on aurait obtenue si les sujets avaient choisi au

Type de réponse en fonction du raisonnement sous-jacent	Débits en différents points d'un circuit en série			Débit après augmentation des pertes de charges			Répartition du flux entre deux branches parallèles		
	T	O	R (1)	T	O	R (1)	T	O	R (1)
Raisonnement systémique (correct)	5,8 (2)	14 (2)	3,4 (2)	1,9	10	5,8	5,8	7	0,5
Raisonnement local	11,6	24	3,6	3,9	9	2,6			
Raisonnement séquentiel ...	11,6	10	- 0,5	3,9	15	5,7	11,6	22	3,1
Raisonnement « à débit constant »	-	-	-	1,9	9	5,1	5,8 (3)	5,8 (3)	5,1 (3)
Autres	23	4	- 4,0	40,4	9	- 4,8	28,9	5	- 4,4

(1) Lorsqu'un résidu généralisé est significatif au seuil de P.01 (supérieur à 2,58), il est imprimé en caractères gras.

(2) La réponse correcte peut aussi être sous-tendue par raisonnement à débit constant.

(3) La séquence de réponse reprise dans cette catégorie (D = E et F = G) peut aussi correspondre à un raisonnement local : nous ne disposons pas d'informations sur ce que le sujet pense du débit à hauteur du rétrécissement.

hasard. Il apparaît également que les types de raisonnements mis en œuvre ne sont pas indépendants des situations.

Un recul limité des raisonnements naturels chez les sujets expérimentaux

Au post-test, le taux de réponses clairement locales ou séquentielles passe de 9 sur 21 à 2 sur 21. Le progrès se marque nettement. Cependant, comme on pouvait s'y attendre au vu de la littérature (voir, par exemple, la synthèse de Eylon et Linn, 1988), le raisonnement local subsiste, assez rarement apparent dans les réponses aux questions fermées, mais perceptible, chez certains sujets, dans les justifications de réponses autres que strictement locales. La procédure mise en place (4 séances d'apprentissage seulement, rappelons-le), n'a pas réussi à convaincre tous nos sujets de prendre en considération l'ensemble des caractéristiques du circuit pour déterminer un débit : 3 ou 4 d'entre eux (selon la sévérité des critères appliqués) continuent à se fonder sur un raisonnement non systémique.

La constance du débit

Lors de l'analyse des réponses des 52 novices au questionnaire écrit, il est apparu qu'aucun d'entre eux ne parvenait à concilier la constance du débit le long d'un même circuit en série et ses variations en fonction des causes de pertes de charge introduites dans le circuit, comme si l'articulation de ces deux phénomènes ne se produisait pas « naturellement ». Suite à l'apprentissage, 2 sujets réussissent à intégrer ces notions : la constance du débit est relative et celui-ci est fonction non seulement de la vitesse de rotation de la pompe, mais aussi des pertes de charge.

4. DISCUSSION GLOBALE

4.1. Des concepts différents de ceux du physicien, et des contaminations

Malgré l'évitement prudent, dans les consignes et les questions, de termes trop techniques, les sujets évoquent, dans leurs explications, la « pression », la « résistance », le « débit » en leur donnant des significations qui ne sont pas toujours faciles à décoder.

En particulier, on note chez les novices une sorte de contamination non exceptionnelle, entre

les notions de débit et de vitesse : ainsi un sujet explique que, pour que la quantité d'eau par seconde reste constante, le débit doit accélérer.

4.2. L'efficacité face aux questions fermées

Si on relève la réponse dominante parmi les novices à chaque séquence de questions, sans préjuger de la qualité des justifications, on obtient le profil suivant (soulignons qu'aucun de nos sujets ne correspond totalement à ce profil) :

— Dans un circuit en série, le débit est plus faible à hauteur du rétrécissement (raisonnement local).

— Lorsque dans un circuit en série on réduit le diamètre d'un rétrécissement, le débit est réduit à hauteur du rétrécissement et en aval de celui-ci (raisonnement séquentiel).

— Dans un circuit en parallèle, dont les deux branches comportent des rétrécissements différents, le débit se répartit de façon égale entre les deux branches, mais est plus faible dans la branche la plus rétrécie en aval du rétrécissement (raisonnement séquentiel).

— Dans un circuit en série, la vitesse de déplacement des particules est plus rapide à hauteur du rétrécissement (réponse correcte).

— Les niveaux d'eau dans des tubes verticaux ouverts fixés sur un circuit en série décroissent de la sortie de la pompe à son entrée lorsque celle-ci fonctionne (réponse correcte).

— Lorsqu'on accélère la vitesse de rotation de la pompe, le niveau de l'eau s'élève dans les deux tubes les plus proches de la sortie de la pompe et de son entrée (raisonnement non-systémique).

Le raisonnement naturel conduit le plus souvent les novices à la réponse correcte face à deux situations : la vitesse des particules dans un rétrécissement, compatible avec un raisonnement local, et les hauteurs d'eau dans des tubes verticaux fixés sur un circuit en série, compatibles avec un raisonnement séquentiel.

La variabilité inter-, mais aussi intra-individuelle des raisonnements et des représentations mis en œuvre par ces sujets peut sans doute être mise en rapport avec leur caractéristique de novice : le thème de l'hydrodynamique leur est peu familier. Pour répondre à notre demande, chacun a dû mobiliser et/ou construire des connaissances et des représentations à la fois très individuelles et peut-être assez instables (5).

Dans l'ensemble, face aux situations proposées dans le test, les **conceptions « naïves » et les raisonnements naturels des novices** interrogés s'avèrent **peu efficaces** : la séquence de questions fermées le mieux réussie ne l'est que par 25 sujets sur 52 ; une des séquences n'est réussie par aucun novice. Rappelons, en outre, que certaines des « réussites » reposent, nous l'avons vu, sur un raisonnement partiellement erroné.

Par contre, en ce qui concerne les **sujets expérimentaux**, la comparaison des réponses lors des deux passations met en évidence une **progression** de leur degré d'expertise, tout au moins tel qu'il peut être évalué par ce test. Chacun des sujets obtient au post-test un score supérieur à celui du prétest, mais les progrès sont d'ampleur différente. Les explications des réponses correctes se sont également améliorées dans l'ensemble, et leur analyse vient donc renforcer le constat positif basé sur les réponses aux questions fermées.

Nous avons souligné qu'aucun des 52 novices ne concilie la constance du débit le long d'un même circuit en série et ses variations en fonction des modifications des pertes de charge introduites dans le circuit. Suite à l'apprentissage, sans que ce point y ait été abordé explicitement, 2 sujets réussissent à intégrer ces notions.

4.3. Un profil-type : la constance des paramètres

Dans les réponses des novices, un profil-type a pu être isolé : sept sujets affirment la constance ou l'égalité du débit en toutes circonstances (dans un même circuit en série, mais aussi dans deux branches parallèles comportant des rétrécissements différents et dans un circuit en série dont le diamètre du rétrécissement a été réduit). Parmi ces 7 sujets, 5 considèrent également que les hauteurs d'eau dans les tubes ne varient pas. Aux yeux de ces 5 sujets, un seul des paramètres sur lesquels portent les questions du test varie : la vitesse de déplacement des particules, accélérée dans la portion rétrécie d'un circuit en série.

Après apprentissage, deux sujets expérimentaux répondent également comme si le débit ne variait jamais.

Ce type de réponse est également observé face au circuit électrique (Closset, 1983 et 1989 ; Shipstone et al., 1989). Closset (1989) interprète ce raisonnement à courant constant comme une

ultime adaptation du raisonnement causal linéaire, chez des sujets qui ne succombent plus aux pièges du raisonnement séquentiel, mais ne prennent néanmoins pas en compte l'ensemble du système.

4.4. Un accès difficile à la notion de système

Face aux questions relatives au débit, le raisonnement dominant chez les **novices** est de type local ou séquentiel et le circuit n'est pas considéré comme un système dont tous les éléments sont en interaction permanente. Tout se passe comme si les sujets ne tenaient pas compte de la fermeture du circuit.

La procédure expérimentale mise en place, et en particulier la phase d'apprentissage, améliore-t-elle les compétences des sujets à cet égard ?

Nous avons compté le nombre de sujets **expérimentaux** réussissant totalement chacune des séquences, au prétest, puis au post-test.

Séquence de questions	Nombre de sujets (sur 7) ayant réussi totalement la séquence	
	au prétest	au post-test
Circuit en série et vitesse des particules	3	7
Pompe et différences de pression	3	7
Accélération de la pompe et différences de pression	0	5
Circuit en série et débit	2	5
Circuit en parallèle et répartition du flux	0	4
Circuit en série et pertes de charge	1	3

On constate que le progrès concerne chacune des séquences (2 à 5 réussites de plus au post-test qu'au prétest). Deux séquences sont réussies par tous au post-test : elles étaient aussi les mieux réussies lors du prétest ; relatives à la vitesse des particules et aux différences de pression créées par la pompe, elles se prêtent à un raisonnement local ou séquentiel ; leur réussite ne requiert pas absolument le dépassement de celui-ci. Par contre, les 2 séquences qui ne sont réussies respectivement que par 3 et 4 sujets impliquent des effets à distance sur le débit. Elles reposent bien davantage sur une conception systémique du circuit.

5. CONCLUSIONS

Notre recherche met en évidence la difficulté des problèmes d'hydrodynamique pour des sujets novices dans le domaine : tout comme le circuit électrique, le circuit hydraulique fait l'objet d'un raisonnement causal linéaire plutôt que systémique. Tabler sans plus sur l'analogie hydraulique pour aider des novices à aborder le circuit électrique paraît donc un pari risqué.

Par contre, lorsqu'il s'agit d'apprentissage, le circuit hydraulique permet de visualiser certains phénomènes, qui ne peuvent être approchés qu'au travers d'instruments de mesure relativement sophistiqués dans le domaine de l'électricité : un concept abstrait comme la différence de potentiel, très souvent absente du raisonnement des novices

en électricité, correspond aux différences de pression qui elles, peuvent se matérialiser par des hauteurs d'eau. Ceci nous indique sans doute une des voies à suivre à l'avenir : rechercher les moyens à employer, lors de la phase d'apprentissage, pour aider des novices à accéder au raisonnement systémique.

Christiane Blondin

Service de Pédagogie expérimentale
Université de Liège (Belgique)

Jean-Louis Closset

Faculté des Sciences agronomiques
Université de Gembloux (Belgique)

Dominique Lafontaine

Service de Pédagogie expérimentale
Université de Liège (Belgique)

NOTES

(1) Ce texte présente des résultats de recherches du Programme national d'impulsion à la recherche fondamentale en intelligence artificielle, mis en œuvre à l'initiative de l'Etat belge - Service du Premier Ministre - Programmation de la Politique scientifique. La responsabilité scientifique est assumée par ses auteurs.

(2) Soulignons, en outre, que le concept pertinent par rapport au débit est la différence de pression et non simplement la pression.

(3) $X_2 = 3,84$, significatif à P.05, mais non à P.01.

(4) $R = \frac{O - T}{\sqrt{R}}$ si R = résidu généralisé.
O = effectif observé
T = effectif théorique

(5) En fin de questionnaire, les sujets sont invités à préciser ce qui les a aidés à répondre aux questions. Le transfert à l'hydraulique de compétences acquises dans d'autres domaines de la physique paraît relativement faible (ou alors peu conscient) : moins de la moitié des novices mentionnent des connaissances en physique et parmi eux, trois sujets seulement citent une situation analogue à celles qui leur sont présentées : électricité, circulation sanguine, mécanique des fluides.

BIBLIOGRAPHIE

Actes du 1^{er} Séminaire National de Recherche en Didactique des Sciences Physiques (1991). Grenoble : Université Joseph Fourier. Les publications de l'IFM.

BACHELARD G. (1938). — *La formation de l'esprit scientifique : contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*. Paris : Vrin.

BEN HAMIDA J. (1980). — *Modèles de fonctionnement de circuits électriques chez les enfants de 12 ans*. Université Paris VII. Thèse de 3^e cycle en didactique de la physique.

BENSEGHIR A. (1989). — *Transition électrostatique-électrocinétique : point de vue historique et analyse des difficultés des élèves*. Université Paris VII : Thèse de doctorat en physique.

BLONDIN C. (à paraître). — *Toward expertise in hydrodynamics : psychological data*. In M. CAILLOT (Ed.) *Learning electricity or electronics with advanced educational technology*. Heidelberg : Springer-Verlag.

CLOSSET J.-L. (1983). — *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*. Université Paris VII : Thèse de doctorat en didactique de la physique.

- CLOSSET J.-L. (1989). — Les obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 716, 931-950.
- EYLON B.S., LINN M.C. (1988). — Learning and instruction : an examination of four research perspectives in science education. *Review of Educational Research*, 58(3), 251-303.
- JOSHUA S. (1982). — L'utilisation du schéma en électrocinétique : aspects perceptifs et aspects conceptuels. Propositions pour l'introduction de la notion de potentiel en électrocinétique. Marseille : Université de Provence. Thèse de doctorat en didactique de la physique.
- LAFONTAINE D., BLONDIN C., CLOSSET J.-L. (1990). — Résolution de problèmes d'hydrodynamique face à un circuit concret. Comparaison des stratégies avant et après apprentissage. *European Journal of Psychology of Education*, Vol. 5, 4, 517-531.
- LAFONTAINE D., BLONDIN C., CLOSSET J.-L., LEJOLY S. (soumis pour publication). — Experts et novices face à un circuit hydraulique simulé sur ordinateur.
- MAURINES L. (1986). — Premières notions sur la propagation de signaux mécaniques : études des difficultés des étudiants. Université Paris VII. Thèse de doctorat en Didactique de la Physique.
- PFUNDT H., DUIT R. (1991). — Bibliography. *Students' Alternative Frameworks and Science Education 3d Edition*. Kiel : IPN Reports-in-Brief.
- ROSIER S. (1987). — Le raisonnement linéaire causal en thermodynamique classique élémentaire. Université Paris VII. Thèse de doctorat en didactique de la physique.
- SALTIEL E. (1978). — Concepts cinématiques et raisonnements naturels : étude de la compréhension des changements de référentiels galiléens par les étudiants en sciences. Université Paris VII : Thèse d'Etat.
- SHIPSTONE D.M., VON RHÖNECK C., JUNG W. (1989). — A study of students' understanding of electricity in five European countries. *Int. J. Sci. Educ.*, 10(3), 303-316.
- VIENNOT L. (1979). — Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1(2), 205-221.
- VON RHÖNECK C., VOLKER B. (1985). — Semantic structures describing the electric circuit before and after instruction. In R. DUIT, W. JUNG et C. VON RHÖNECK (Eds). *Aspects of understanding electricity. Proceedings of an International Workshop*. Kiel : Vertrieb, Schmidt et Klaunig.