

Zeitschrift: Bildungsforschung und Bildungspraxis : schweizerische Zeitschrift für Erziehungswissenschaft = Éducation et recherche : revue suisse des sciences de l'éducation = Educazione e ricerca : rivista svizzera di scienze dell'educazione

Herausgeber: Schweizerische Gesellschaft für Bildungsforschung

Band: 15 (1993)

Heft: 1

Artikel: Experts et novices face à un circuit hydraulique simulé sur ordinateur

Autor: Lafontaine, D. / Blondin, C. / Closset, J.-L.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-786330>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Experts et novices face à un circuit hydraulique simulé sur ordinateur¹

D. Lafontaine
C. Blondin
J.-L. Closset
et S. Lejoly

Cette étude compare les stratégies de résolution de problèmes d'experts, d'une part, et de novices d'autre part, dans le domaine de l'hydrodynamique. Les connaissances des sujets en physique théorique ont été évaluées au moyen d'un questionnaire écrit. Ensuite, chaque sujet a été invité à résoudre cinq problèmes simulés sur ordinateur : le sujet manipule les éléments d'un circuit, qui réagit comme un circuit réel. Toutes les interactions du sujet avec le système, ainsi que les états successifs de celui-ci, sont intégralement enregistrés. Les problèmes sont non routiniers, même pour les experts. Un raisonnement «naturel» typique, appelé «raisonnement local», est mis en évidence chez les novices et une importance variabilité, intra et inter- individuelle est observée, qui pourrait être partiellement due à des différences mineures entre les situations.

Introduction théorique.

Quelles stratégies les sujets humains utilisent-ils pour résoudre des problèmes ? Cette question, posée dès l'aube de la psychologie scientifique, s'est successivement trouvée au coeur de travaux aussi différents que ceux de l'école piagétienne ou ceux sur les styles cognitifs.

Aujourd'hui, elle s'épanouit dans le jardin de la psychologie cognitive et de l'intelligence artificielle, sous une forme méthodologique nouvelle, mais

rapidement devenue espèce commune : la comparaison des stratégies de résolution de problèmes chez les experts et les novices.

Dans les travaux récents consacrés à la résolution de problèmes, deux approches semblent pouvoir être distinguées dans la façon dont sont fondamentalement conceptualisées les différences de comportement entre individus. Ces deux approches seront illustrées à l'aide d'expériences relatives à la résolution de problèmes de physique.

- Une première approche se centre principalement sur le contenu et l'organisation interne des connaissances.
- La seconde approche, en revanche, met l'accent sur les processus ou les stratégies mis en oeuvre.

Schémas, théories naïves et prototypes.

Ce courant trouve l'une de ses expressions principales dans les travaux de CHI, FELTOVICH, GLASER, REES, ..., consacrés à la résolution de problèmes en physique. Pour ces chercheurs, qu'ils soient experts ou novices, tous les sujets, fondamentalement, possèdent et mettent en oeuvre des «schémas» organisant leurs connaissances spécifiques (connaissances physiques). En cours de résolution, ils s'appuient sur des schémas (ils sont «schemata driven»). Des différences considérables sont, par ailleurs, mises en évidence quant à ce qui constitue le contenu de ces schémas (CHI, FELTOVICH, GLASER, 1981) ; les schémas des experts sont plus riches, plus élaborés, plus qualitatifs, et contiendraient davantage de connaissances procédurales (des règles et leurs conditions d'application). Mais fondamentalement, il n'y aurait pas de différences de nature quant au processus intellectuel principal sur lequel s'appuie la démarche de résolution de problèmes, à savoir la mise en oeuvre d'un schéma.

Dans une autre perspective et bien que de manière souvent plus implicite, le courant de recherches qui s'est attaché à étudier les conceptions ou théories naïves (raisonnement naturel, conceptions intuitives ou communes, *misconceptions*, etc.) met pareillement l'accent sur des différences de contenu, tout en soulignant l'existence de «*théories*» (ensemble de connaissances doté de stabilité, cohérence, résistant à l'apprentissage) même chez les sujets naïfs ou novices. Experts et novices ont des théories différentes certes - mais ils ont des théories. De nombreux travaux expérimentaux ont été réalisés qui s'attachent à analyser en quoi consistent ces théories naïves dans différents domaines de la physique (voir notamment GENTNER, 1983).

Ainsi, en ce qui concerne le mouvement, VIENNOT (1979) et MAC CLOSKEY (1983) soutiennent que les novices possèdent une théorie cohé-

rente du mouvement, la théorie de l'élan (*impetus theory*) . Ils s'opposent sur ce point à YATES et al. (1988, voir plus loin).

Dans le domaine de l'électricité, CLOSSET (1983; 1989) a montré que les novices - et même les experts dans certaines situations - présentent des modes de raisonnement caractéristiques : le «raisonnement local» consiste, face à un circuit fermé, à considérer que des actions opérées sur le circuit n'engendrent qu'un effet à l'endroit même ou aux alentours immédiats de l'endroit de l'action ; le «raisonnement séquentiel» consiste à suivre le courant à partir de la source de tension et à considérer que les différents «obstacles» (résistances) n'ont pas de retentissement en amont de l'endroit où ils se trouvent.

La présence de raisonnements non systémiques a aussi été mise en évidence dans le domaine de l'hydrodynamique (LAFONTAINE, BLONDIN et CLOSSET, 1990 ; BLONDIN, CLOSSET et LAFONTAINE, 1992).

Dans une perspective assez différente, certains auteurs (YATES et al., 1988) s'opposent à l'idée selon laquelle les sujets novices posséderaient des théories naïves (voir notamment MAC CLOSKEY, 1983, présenté ci-avant), constituées de lois ou principes physiques structurés. Pour ces auteurs, les sujets novices résolvent les problèmes de physique en s'appuyant principalement sur leurs expériences antérieures qui sont structurées, non pas sous forme de théories cohérentes, mais sous forme d'événements-prototypes ou d'images de situations spécifiques. La perception et l'analogie jouent un rôle important dans cette perspective. A l'appui de leurs thèses, ces auteurs invoquent les résultats d'expériences (problèmes relatifs au mouvement) desquelles il ressort que les réponses des sujets offrent peu de cohérence, de légères variations dans la situation problème entraînant des réponses différentes. De plus, si, préalablement à la résolution, on évoque l'une ou l'autre analogie possible, les réponses des sujets en sont sensiblement influencées. La constatation d'une telle variabilité intra-individuelle conduit YATES et al. à suggérer que l'on échange «le modèle traditionnel de la connaissance systématique pour un modèle où la connaissance consiste plutôt en «pièces» de connaissance, relativement peu systématiques (incomplètement connectées et incomplètement cohérentes), relativement nombreuses et fondées sur des situations» (p. 265).

Stratégies théoriques versus stratégies exploratoires.

Cette seconde approche tend à mettre en évidence l'existence d'au moins deux démarches irréductibles : schématiquement, on peut qualifier la première démarche de «théorique», la deuxième de démarche «exploratoire» ou «expérimentale».

Ainsi, KARMILOFF-SMITH (1979, 1985), au cours d'expériences de résolution de problèmes de physique de type piagétien par des enfants (équilibrer des pièces de bois lestées différemment, construire des circuits de train avec des rails rectilignes ou incurvés), fait apparaître l'existence de deux types de démarches contrastées : soit l'enfant produit une «réponse-action», c'est-à-dire que sa seule préoccupation est de réussir l'action demandée, à la limite sans savoir pourquoi, soit il produit une «réponse théorique», c'est-à-dire qu'il cherche à confirmer ou infirmer, par ses manipulations, une hypothèse explicative des phénomènes qu'il a élaborée (KARMILOFF-SMITH et INHELDER, 1985). Un même enfant peut se comporter tantôt d'une façon, tantôt de l'autre, en fonction de la nature de la tâche. Un élément intéressant à souligner par ailleurs est que l'apparition de «réponses théoriques» chez un sujet peut se solder par une moins bonne performance pour ce qui est de la réussite de la tâche. En effet, tout entier préoccupé à vérifier une hypothèse qui peut être fausse ou incomplète, le sujet devient en quelque sorte indifférent aux réponses de l'objet. Ceci explique pourquoi, à mesure que certains apprentissages se font, des reculs de performance peuvent être temporairement observés.

L'un des critères sur lesquels se fonde KARMILOFF pour distinguer les deux types de démarche est l'existence de pauses et leur temporalité. «Aussi longtemps que l'enfant est orienté vers la réussite, il n'y a pratiquement aucune pause dans ses séquences d'actions. Quand son attention se tourne vers les moyens, les pauses deviennent de plus en plus fréquentes entre les séquences. C'est seulement quand le but et les moyens sont tous les deux pris en considération que les pauses se mettent à précéder l'action» (p. 208). De telles pauses précédant l'action ont pareillement été observées lors de la résolution de problèmes de physique par des experts (GLASER et CHI, 1988).

Plus récemment, KLAHR et DUNBAR (1988) ont élaboré un modèle général du raisonnement scientifique reposant sur deux processus distincts : un processus de recherche en mémoire, qui conduit à générer des hypothèses «théoriques» et un processus d'exploration ou d'expérimentation.

Ces deux processus s'exercent dans deux espaces différents : l'espace des hypothèses et l'espace des expériences. Ce modèle a été développé à partir des résultats d'expériences suivantes : les sujets (n = 20) sont placés dans un contexte où ils doivent découvrir comment fonctionne l'une des touches d'un dispositif électronique. Ils ont au préalable appris comment fonctionnent les autres touches et ont une expérience en programmation : ils possèdent donc des connaissances préalables dont ils peuvent tirer parti.

Deux stratégies différentes sont observées :

- certains sujets, désignés par les auteurs comme les «théoriciens», proposent d'emblée un cadre hypothétique (*frame*) et conduisent ensuite des

expériences pour en tester la valeur. Ils changent de cadre si les expériences infirment le précédent, mais ne réalisent pas d'expériences «pour voir» sans formuler d'hypothèses précises;

- d'autres, les «expérimentateurs», passent par deux stades. Ils émettent une première hypothèse et la mettent à l'épreuve. Ensuite, ils se lancent dans plusieurs autres expériences, sans hypothèse directrice.

La plupart des sujets finissent par découvrir ce qu'on leur a demandé. Toutefois, les «théoriciens» prennent moins de temps (11 minutes contre 24 aux «expérimentateurs») et font deux fois moins d'essais. Leur stratégie paraît donc plus économique. Dans une étude complémentaire, KLAHR et DUNBAR (1988) montrent qu'on peut infléchir la stratégie des sujets en les incitant au départ à formuler explicitement un éventail d'hypothèses possibles. Ainsi invités à explorer l'espace des hypothèses, les sujets font moins d'essais et, surtout, remettent davantage en cause une hypothèse quand les faits l'infirment (dans 85 % des cas pour les «théoriciens» et dans 58 % des cas pour les «expérimentateurs»); dans la première étude, les deux types de sujets ne le faisaient que dans 44 % des cas.

KLAHR et DUNBAR rapprochent la distinction théoricien/expérimentateur de l'opposition classique en I.A. entre les sujets «*schemata driven*» et les sujets «*data driven*». RASMUSSEN (1981, cité par KLAHR et DUNBAR) a, de son côté, découvert des oppositions de stratégies analogues chez des opérateurs cherchant à localiser des défauts dans un système complexe. Certains explorent l'espace des expériences, cherchant à découvrir le composant déficient. D'autres explorent l'espace des hypothèses et essaient de se rappeler un ensemble de symptômes similaire à celui observé. Le recours à ces stratégies varie en fonction du niveau de connaissances. Les experts tendent plutôt à explorer l'espace des hypothèses, les novices l'espace des expériences.

Dans l'expérience rapportée ici, nous nous proposons de comparer à notre tour les stratégies de résolution de problèmes d'hydrodynamique chez des experts et des novices. Ces problèmes tels qu'ils sont présentés constituent des problèmes non routiniers, même pour les experts. Chaque sujet doit résoudre plusieurs problèmes. L'objectif est d'évaluer la cohérence ou la variabilité des stratégies non seulement d'un sujet à l'autre, mais aussi d'un problème à l'autre, chez un même sujet.

Methodologie

La simulation.

Des simulations dynamiques de circuits hydrauliques ont été mises au point et implémentées sur Macintosh II². Les interactions du sujet avec le circuit

sont enregistrées par l'ordinateur, ainsi que l'état des différents paramètres au moment où le sujet agit sur le circuit. On sait ainsi *ce que le sujet fait*, à quel moment, et l'état du système à cet instant.

Trois versions de circuit sont utilisées : un circuit en série (une seule boucle), un circuit en parallèle comprenant deux branches et un circuit en parallèle comprenant trois branches.

Ces circuits comportent :

- une pompe;
- des vannes (celles-ci se ferment progressivement);
- des rétrécissements modulables ;
- des tubes verticaux ouverts, symbolisés par des cercles dessinés à même le circuit ;
- des moulinets, dont les ailes tournent au passage de l'eau ;
- des débitmètres,
- des manomètres,
- des potentiomètres, qui permettent d'agir sur les différents éléments.

Les mesures ne sont pas affichées en permanence. Pour les obtenir, le sujet doit les demander. On possède ainsi une indication du *type* d'information dont le sujet se sert pour résoudre son problème et de l'*ordre* dans lequel il y fait appel. Le système est conçu de telle sorte qu'on ne peut afficher à l'écran plus de trois mesures du même type. Si on en veut une quatrième, il faut choisir d'en effacer une précédemment affichée. Ceci évite que le sujet commence par afficher toutes les mesures et les laisse à l'écran en permanence, ce qui nous priverait de toute information quant aux mesures «utiles» ou utilisées.

Quand le système fonctionne, le mouvement de l'eau est symbolisé (dans les tubes horizontaux) par de petits points mobiles.

Par analogie avec ce qui se passait sur le circuit réel antérieurement utilisé par les sujets, un accroissement excessif de la différence de pression aux bornes de la pompe conduit à la simulation d'un débordement, avec arrêt de la pompe.

Que peut faire le sujet avec le circuit ? Grâce à la souris, et en se positionnant aux endroits nécessaires, le sujet peut demander de l'information (mesures du débit ou de la pression) et modifier l'état du circuit (changer la vitesse de la pompe, ouvrir ou fermer les vannes, modifier le diamètre des rétrécissements).

Les sujets.

Sept étudiants en psychologie constituent la population des novices : avant d'être invités à résoudre les problèmes simulés, ils ont résolu une série de problèmes d'hydrodynamique par écrit (questionnaire); ils ont ensuite été confrontés à quatre problèmes similaires sur un circuit réel, puis ont subi quatre séances d'apprentissage des principales notions d'hydrodynamique. Pendant la résolution des problèmes simulés, ces sujets disposent d'un «aide-mémoire» reprenant en une page les principales notions enseignées.

Deux licenciés et un docteur en sciences physiques, chargés de cours ou de travaux pratiques en hydrodynamique à l'université composent le groupe des «experts». Ils ont également résolu des problèmes d'hydrodynamique par écrit, puis, lors d'une même séance, ils ont été invités à résoudre les quatre problèmes sur circuit réel, enfin les cinq problèmes simulés.

La procédure.

L'expérimentateur commence par présenter un modèle de circuit simulé au sujet. Celui-ci dispose de cinq minutes pour se familiariser avec le système et la manipulation de la souris. Il reçoit ensuite successivement cinq problèmes. Pour chacun des problèmes, un temps-limite est assigné.

Les problèmes.

Les problèmes à résoudre sont complexes; pour les résoudre, le sujet doit prendre en compte différents paramètres du circuit, qui se trouvent eux-mêmes en interaction (débit et différences de pression notamment).

Un état de départ est donné (la pompe tourne à une certaine vitesse, certaines vannes sont fermées ou entrouvertes, certains rétrécissements sont effectués) : le sujet doit agir sur différents éléments pour atteindre un autre état (objectif).

Résultats

Globalement.

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats aux cinq problèmes présentés sur ordinateur. Le temps de résolution et le nombre moyen d'actions sont relatifs aux problèmes réussis. Ils ne sont donc strictement comparables que pour les sujets qui ont réussi l'ensemble de l'épreuve (caractères gras).

| | N1 | N2 | N3 | N4 | N5 | N6 | N7 | E1 | E2 | E3 |
|---|------|-------------|------|------|------|------|------|-------------|-------------|------|
| Nombre de problèmes réussis | 2 | 5 | 3 | 3 | 4 | 2 | 4 | 5 | 5 | 3 |
| Temps moyen de résolution (en secondes) | 337 | 179 | 202 | 185 | 280 | 108 | 163 | 148 | 114 | 140 |
| Durée moyenne de la pause initiale | 53 | 63 | 41 | 34 | 62 | 66 | 39 | 31 | 47 | 89 |
| Nombre de pauses ¹ | 12 | 10 | 19 | 19 | 24 | 22 | 10 | 7 | 11 | 19 |
| Nombre moyen d'actions | 57,5 | 22,0 | 32,7 | 25,3 | 36,8 | 28,5 | 29,3 | 19,2 | 11,8 | 12,0 |

TABLEAU 1. Résultats globaux des cinq problèmes.

Légende : N=novice, E=expert.

¹ La pause est ici définie comme un intervalle de 15 secondes au moins entre deux actions du sujet sur le circuit.

En première approche, il semble que les experts se montrent plus efficaces que les novices face aux problèmes présentés; deux experts sur trois réussissent tous les problèmes, alors qu'un novice sur sept seulement parvient à ce résultat.

Parmi les trois sujets qui réussissent les cinq problèmes, les experts atteignent l'objectif plus rapidement et en moins d'actions que le novice. Globalement, les résultats confirment, comme on pouvait s'y attendre, la supériorité des experts. Cependant, l'analyse des performances problème par problème conduit à nuancer quelque peu le constat ci-dessus.

Aucune régularité n'apparaît, en ce qui concerne les pauses : ni la durée des pauses initiales, ni le nombre de pauses en cours de résolution ne semblent liés au taux de réussites.

Les résultats, problème par problème.

Problème 1³ (Temps accordé : 5 minutes)

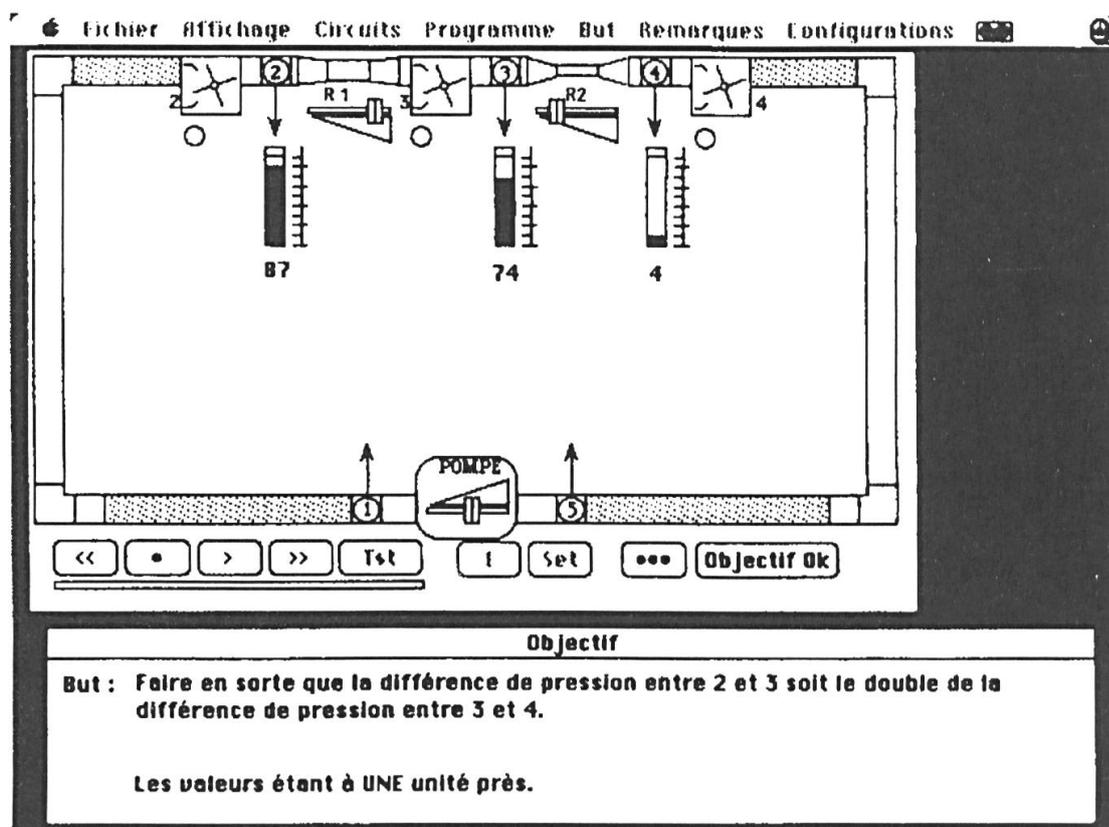


FIGURE 1. Ecran de présentation du problème 1.

Raisonnement attendu.

Dans un circuit en série (boucle simple), les différences de pression aux bornes des rétrécissements sont proportionnelles à la «résistance»⁴ de ceux-ci.

Ce problème revêt les apparences de la simplicité : il ne fait intervenir que des différences de pression relatives (pas de débit). Il n'est pas besoin d'un

raisonnement physique robuste pour atteindre l'effet demandé. De simples manipulations renseignent en effet assez rapidement sur le sens des actions à effectuer. La difficulté relative du problème réside davantage, en principe, dans l'ajustement exact des rétrécissements (évaluation de l'effet que produit le déplacement du curseur), et dans le calcul du rapport entre les différences de hauteur d'eau, que dans la complexité du raisonnement physique à mettre en oeuvre.

Réponse correcte.

Ajuster relativement les rétrécissements R1 et R2 (i.e. rétrécir R1 et élargir R2) jusqu'à ce que la «résistance» de R2 égale deux fois celle de R1.

Résultats.

| | N1 | N2 | N3 | N4 | N5 | N6 | N7 | E1 | E2 | E3 |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Objectif atteint | Oui | Oui | Non | Non | Oui | Non | Oui | Oui | Oui | Non |
| Temps nécessaire à la réussite (en secondes) | 229 | 161 | - | - | 52 | - | 275 | 200 | 164 | - |
| Nombre d'actions précédant la réussite | 20 | 7 | - | - | 5 | - | 29 | 17 | 12 | - |
| Adéquation totale de l'affichage des indices | Non | Oui | Oui | Non | Oui | Oui | Non | Oui | Oui | Oui |
| Efficacité en ce qui concerne les paramètres ² | .92 | 1 | 1 | .86 | 1 | .87 | .90 | 1 | 1 | .85 |
| Pauses | 3 | 3 | 7 | 10 | 1 | 14 | 5 | 4 | 3 | 6 |

TABLEAU 2. Indices relatifs au problème 1.

- 2 Il s'agit ici du rapport entre le nombre d'actions exercées sur des paramètres susceptibles d'intervenir dans la résolution du problème et la somme du nombre d'actions sur ces paramètres et des actions sur des paramètres non pertinents.

A. Novices

Quatre novices sur sept résolvent le problème dans le délai imparti. Deux d'entre eux (N2 et N5) travaillent de façon très efficace : ils affichent d'emblée

les paramètres qu'il est nécessaire de connaître, et ceux-là uniquement ; ils ne modifient jamais le réglage de la pompe, comme s'ils savaient que ce paramètre n'est pas susceptible d'influencer le rapport entre les différences de pression (efficacité égale à 1) ; peu d'actions leur sont nécessaires (respectivement 7 et 5) pour atteindre l'objectif.

Le premier procède de manière apparemment assez erratique, mais se montre fort habile (à travers tous les problèmes d'ailleurs) dans la manipulation concrète du circuit (jeu avec la souris) et l'estimation de l'ampleur des mouvements à effectuer. L'autre novice résout le problème en 52 secondes (beaucoup plus vite que les experts) et ne présente aucune erreur, aucune action inutile ou inappropriée.

Les deux autres novices qui atteignent l'objectif (N1 et N7) se montrent plus lents (respectivement 229 secondes -ou plus- et 275) ; le nombre d'actions est plus élevé (20 et 29) ; enfin la moindre qualité de leur performance s'observe également au niveau de l'affichage des paramètres (l'un d'eux travaille d'abord sans points de repères) et de la pertinence des actions (efficacités de .92 et de .90).

Parmi les trois novices qui échouent, l'un tarde également à afficher les paramètres nécessaires. Leurs difficultés, ainsi que celles des novices qui ont atteint l'objectif, mais après de nombreux essais, semblent partiellement liées à la compréhension de l'énoncé (deux en inversent les termes) et à la nécessité de calculer le rapport entre deux différences (ils parviennent à l'objectif sans s'en apercevoir).

B. Les experts.

Deux experts sur trois (E1 et E2) ont atteint l'objectif dans le temps imparti, mais en plus de temps (200 et 164 secondes) et surtout beaucoup plus d'actions (17 et 12) que les novices les plus performants. Comme ces derniers, cependant, ils affichent correctement les paramètres nécessaires et n'agissent que sur les paramètres pertinents. La lenteur semble due, chez l'un d'entre eux tout au moins, à une certaine maladresse dans la manipulation de la souris (il signale son malaise).

On relève chez l'un d'eux ce que nous appelons des «persistances dans l'erreur». Ceci consiste, après une manipulation non appropriée - une fermeture excessive d'un rétrécissement, par exemple -, à ne pas modifier le sens de son action en fonction des valeurs des paramètres. Certains sujets,

experts mais surtout novices, sont coutumiers de ce type d'«obstination» ; d'autres rectifient de suite après une action inadéquate. L'expert qui échoue (E3), s'il affiche correctement les paramètres, effectue, par ailleurs, des manipulations totalement inappropriées, dont des actions sur la vitesse de rotation de la pompe, qui ne peut affecter le rapport entre les différences de pression, influencées de façon proportionnelle par la pompe. On observe chez lui aussi des persistances dans l'erreur.

Problème 2 (Temps accordé : 10 minutes)

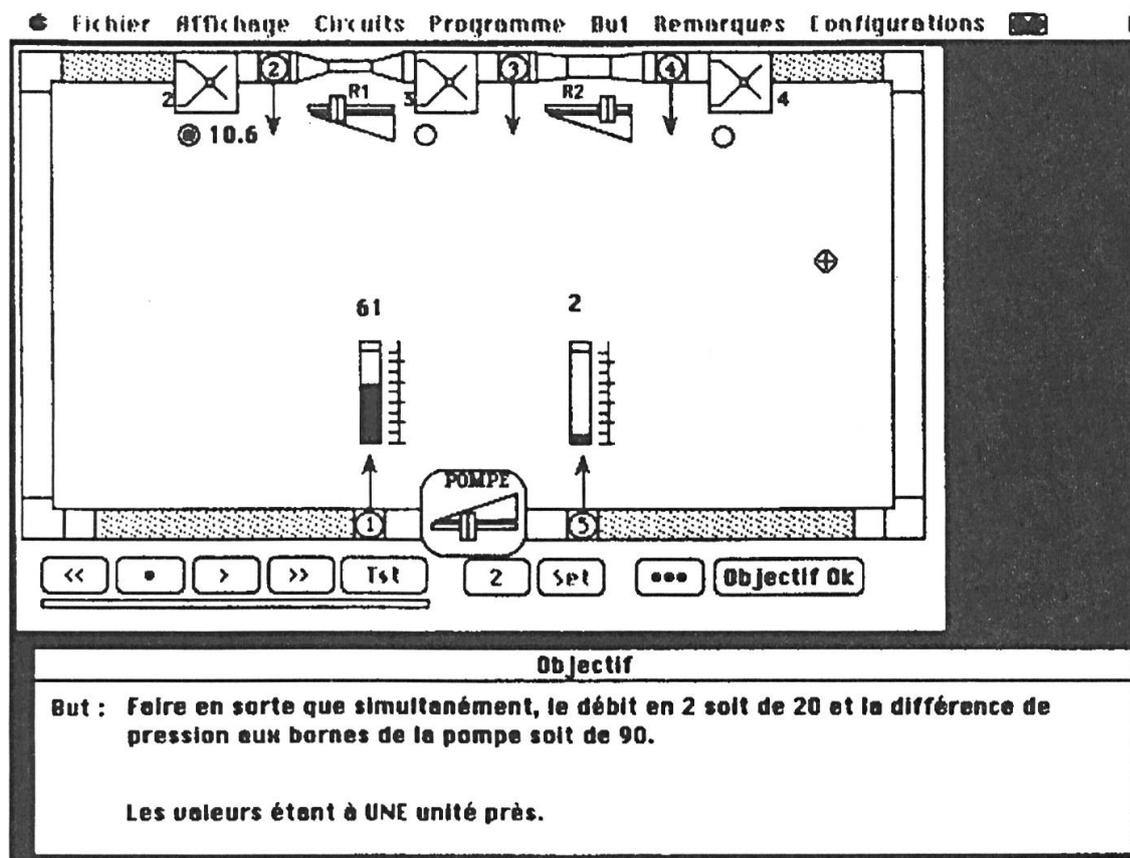


FIGURE 2. Schéma de présentation du problème 2 (*Faire en sorte que simultanément le débit en 2 soit de 20 et la différence de pression aux bornes de la pompe soit de 90. Les valeurs étant à une unité près.*).

Raisonnement attendu.

Si on augmente la vitesse de rotation de la pompe, on augmente la différence de pression à ses bornes.

Pour une différence de pression fixée aux bornes d'une section, le débit est inversement proportionnel à la «résistance» de cette section .

Le problème 2 pose les mêmes difficultés d'ajustement que le problème 1; il est en effet assez malaisé d'amener les paramètres aux valeurs demandées sans provoquer de pannes (la marge de manoeuvre est réduite). Il fait en outre appel à un raisonnement physique plus élaboré (gestion de l'interaction débit - différence de pression) que le problème 1.

Réponse correcte.

Augmenter la vitesse de rotation de la pompe et modifier l'un des deux rétrécissements, en un ajustement progressif (interaction des paramètres).

Résultats.

| | N1 | N2 | N3 | N4 | N5 | N6 | N7 | E1 | E2 | E3 |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Objectif atteint | Non | Oui | Non | Oui | Non | Non | Oui | Oui | Oui | Non |
| Temps nécessaire à la réussite (en secondes) | - | 404 | - | 149 | - | - | 186 | 417 | 141 | - |
| Nombre d'actions précédant la réussite | - | 63 | - | 19 | - | - | 52 | 50 | 11 | - |
| Adéquation totale de l'affichage des indices | Non | Non | Oui | Non | Non | Oui | Non | Non | Oui | Oui |
| Débordements | 7 | 6 | 7 | 0 | 19 | 8 | 4 | 7 | 1 | 8 |
| Actions totalement inappropriées | 12 | 11 | 4 | 3 | 7 | 16 | 2 | 4 | 1 | 3 |
| Pauses | 2 | 1 | 4 | 1 | 8 | 1 | 0 | 3 | 1 | 6 |

TABLEAU 3 . Indices relatifs au problème 2.

A. Novices

Aucun des novices ne réussit à résoudre «élégamment» le problème. Trois d'entre eux (N2, N4 et N7) atteignent l'objectif, dont un après de longs tâtonnements (N2). Tous les novices s'attachent à résoudre séparément les deux sous-objectifs du problème. Or, on ne peut parvenir à la solution sans gérer l'interaction débit - différence de pression. Tous présentent des actions totalement inappropriées (par exemple, diminuer la vitesse de la pompe quand il faut augmenter la différence de pression à la pompe et le débit en 2), ainsi que des persistance dans l'erreur.

B. Experts

Un seul des trois experts (E2) produit une résolution vraiment élégante du problème, en gérant dès le départ l'interaction débit - différence de pression, et n'effectue quasi aucune erreur de parcours (une seule action totalement inappropriée). Les deux autres scindent l'objectif, comme les novices; ils sont dès lors confrontés à des pannes (respectivement 7 et 8 débordements) et commettent de façon persistante un certain nombre d'erreurs.

C. Remarque générale

Alors que les deux rétrécissements sont strictement équivalents par rapport à l'objectif, on observe davantage d'actions sur le rétrécissement 1, situé juste à côté de l'endroit où on suggère que le débit soit mesuré, que sur le rétrécissement 2 : 62 % des 243 actions sur les rétrécissements portent sur le premier, contre 38 % sur le second. Cette prédominance locale, observée tant chez les experts que chez les novices, et sans incidence sur l'efficacité, est peut-être davantage d'ordre pratique que théorique.

Problème 3 (Temps accordé : 10 minutes)

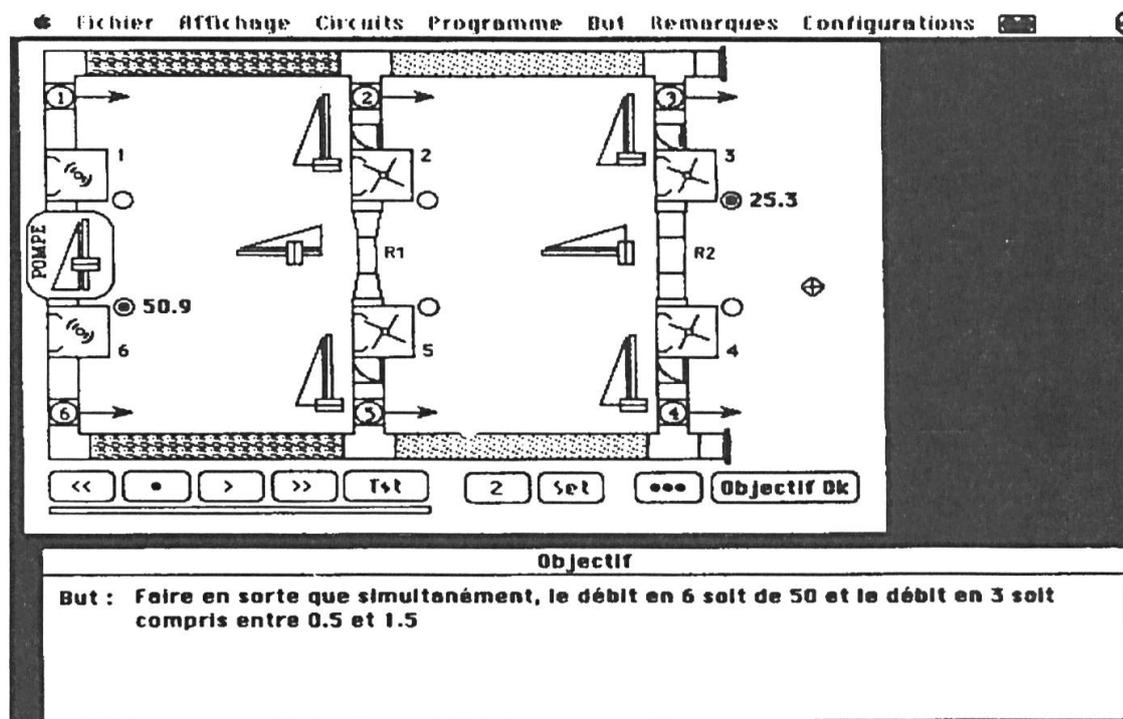


FIGURE 3. Schéma de présentation du problème 3 (Faire en sorte que simultanément le débit en 6 soit de 50 et le débit en 3 soit compris entre 0,5 et 1,5).

Raisonnement attendu :

Dans un circuit comportant des branches en parallèle, le débit à la pompe se répartit dans les branches de façon inversement proportionnelle à l'importance des «résistances» qui s'y trouvent.

Ce problème se prête admirablement à la mise en évidence du raisonnement dit local. Pour parvenir à l'objectif sans encourir de panne, il faut en effet diminuer la «résistance» dans la branche 2-5 (c.à.d. à un endroit éloigné de celui où des effets sont demandés), ce qui est difficilement concevable pour ceux qui raisonnent localement.

Réponse correcte :

- Pour réduire le débit en 3, fermer assez fort les vannes 3 ou 4 ou le rétrécissement R2.

- b) Suite à (a), le débit en 6 devient inférieur à 50 —> il faut augmenter la vitesse de rotation de la pompe, tout en contrôlant le débit en 3 (cfr. a).

Dans ce cas-ci, la solution n'est matériellement réalisable que si on s'est assuré d'une «résistance» suffisamment faible dans la branche 2-5, de manière à ce que la «résistance» totale du circuit n'impose pas pour le débit total souhaité une différence de pression aux bornes de la pompe qui conduirait à un débordement au niveau d'un des tubes.

Résultats.

| | N1 | N2 | N3 | N4 | N5 | N6 | N7 | E1 | E2 | E3 |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Objectif atteint | Non | Oui | Oui | Oui | Oui | Oui | Non | Oui | Oui | Oui |
| Temps nécessaire à la réussite (en secondes) | - | 160 | 286 | 248 | 550 | 114 | - | 71 | 103 | 153 |
| Nombre d'actions précédant la réussite | - | 15 | 43 | 37 | 80 | 25 | - | 16 | 14 | 15 |
| Adéquation totale de l'affichage des indices | Oui | Oui | Oui | Non | Oui | Oui | Oui | Oui | Oui | Oui |
| Temps précédant la première action dans la branche 1 (en secondes) | 585 | 37 | 285 | 184 | 53 | 57 | - | 0 | 27 | 112 |
| Orientation correcte de cette action | Non | Non | Oui | Non | Non | Oui | - | Oui | Oui | Oui |
| Pauses | 1 | 2 | 5 | 2 | 7 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 |

TABLEAU 4 . Indices relatifs au problème 3.

A. Novices

La majorité des sujets (cinq sur sept) amènent aisément le débit en 3 à la valeur demandée. Ceci s'explique sans doute par le fait que, dans ce cas, le raisonnement local et le raisonnement correct conduisent aux mêmes actions. Même sur la base d'un raisonnement erroné, l'effet souhaité est

atteint. Seules des verbalisations complémentaires nous auraient permis, dans ce cas, de distinguer le recours au raisonnement local du recours au raisonnement correct.

Il n'en va pas de même dans la suite du problème. Dès lors que le débit en 6 est très inférieur à 50, augmenter la vitesse de rotation de la pompe ne suffit pas à résoudre ce sous-problème. Une réduction de la «résistance» dans la branche 2-5 s'impose, sinon le système se met en panne.

Un seul des novices (N2) recourt assez rapidement à cette solution (37 secondes) ; les autres, soit n'y parviennent jamais (N1), soit y parviennent après un temps relativement long où se succèdent des tentatives malheureuses sur les éléments proches des endroits où il faut obtenir un effet. Cette difficulté à réagir à l'échec des actions locales en tentant des interventions sur un paramètre plus éloigné ne semble pas reposer sur une simple facilité pratique; la persistance dans des actions manifestement inappropriées semble bien indiquer que, dans le cas présent, la stratégie locale correspond à un raisonnement proprement dit : le raisonnement local. Il faut ajouter à cela que quatre novices sur six (N1, N2, N4 et N5), lorsqu'ils agissent enfin dans la première branche, commencent par y augmenter la résistance. Ils choisissent donc finalement le lieu d'action approprié (par élimination sans doute), mais confrontés au choix entre deux actions possibles (augmenter ou diminuer la résistance), ils optent pour celle qui est inappropriée, comme s'ils avaient procédé par élimination, sans s'appuyer sur un raisonnement physique correct.

B. Experts

Dans le cas de ce problème, le contraste entre les résolutions des experts et des novices est nettement accusé : les experts atteignent l'objectif rapidement, en peu d'actions ; si l'un d'eux (E3) n'agit dans la première branche qu'après un laps de temps assez long (112 secondes), son action est, comme celle de ses collègues, d'emblée bien orientée. On ne relève aucune trace de raisonnement local chez les experts, qui fournissent une résolution économique (peu d'actions).

C. Remarque générale

Pour expliquer la réussite différentielle des problèmes, on ne négligera pas la possibilité d'un effet d'ordre ou d'apprentissage. Ainsi, la relative réussite des problèmes serait aussi liée à la place qu'ils occupent dans la série des cinq

problèmes; la réussite serait facilitée par la familiarisation progressive avec le système. Dans de futures investigations, il conviendrait de faire varier aléatoirement l'ordre de présentation des problèmes.

Problème 4 (Temps accordé : 10 minutes)

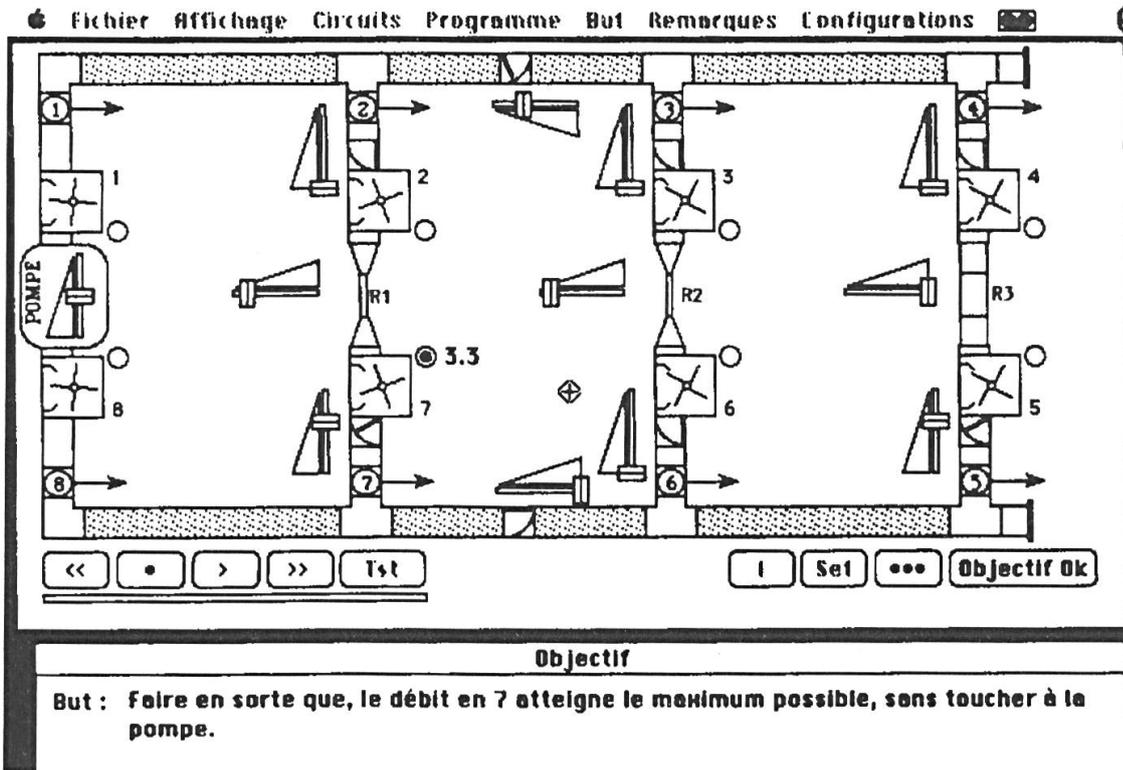


FIGURE 4. Schéma de présentation du problème 4 (*Faire en sorte que le débit en 7 atteigne le maximum possible, sans toucher à la pompe.*)

Raisonnement attendu :

Pour une différence de pression fixée (ici par la pompe) aux bornes d'une branche d'un circuit en parallèle, le débit y est inversement proportionnel à l'importance des «résistances» qui s'y trouvent.

Dans un circuit en parallèle, à un instant donné, le débit à la pompe est égal à la somme des débits dans les différentes branches. Lorsqu'on ferme une ou plusieurs branches, on augmente la «résistance» totale du circuit, ce qui a tendance à réduire le débit total et donc à diminuer la chute de pression aux bornes de la «résistance» interne de la pompe, provoquant ainsi une augmentation de la différence de pression aux bornes de la pompe et une augmentation relative du débit dans la (les) branche(s) restée(s) ouverte(s).

La résolution de ce problème n'est pas incompatible avec l'application d'un raisonnement local. La résolution la plus économique, pour porter le débit au maximum dans la première branche, consiste à fermer *l'une* des vannes latérales (vannes situées dans les conduits inférieur ou supérieur sur la figure). D'autres variantes, moins économiques, existent : fermer les deux vannes latérales, fermer une (ou deux) des vannes dans chacune des deux dernières branches.

Réponse correcte.

Il faut fermer les deux branches les plus éloignées de la pompe (3-6 et 4-5), en fermant l'une des vannes latérales (il est inutile de fermer les deux) et réduire au maximum toutes les «résistances» dans la branche 2-7.

Résultats.

| | N1 | N2 | N3 | N4 | N5 | N6 | N7 | E1 | E2 | E3 |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Objectif atteint | Oui | Oui | Oui | Oui | Oui | Non | Oui | Oui | Oui | Oui |
| Temps nécessaire à la réussite (en secondes) | 368 | 64 | 27 | 242 | 43 | - | 55 | 21 | 18 | 74 |
| Nombre d'actions précédant la réussite | 57 | 7 | 4 | 20 | 4 | - | 7 | 4 | 4 | 4 |
| Adéquation totale de l'affichage des indices ³ | Non | Non | Non | Non | Oui | Non | Non | Oui | Oui | Non |
| Efficacité en ce qui concerne les actions ⁴ | .59 | 1 | 1 | .70 | 1 | .60 | .80 | 1 | 1 | 1 |
| Pauses | 4 | 1 | 0 | 3 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 |

TABLEAU 5 . Indices relatifs au problème 4.

3 L'adéquation totale suppose ici qu'aucun indice ne soit affiché : même le débit en 7 est inutile.

4 Cet indice représente le rapport entre le nombre d'actions pertinentes et le total des actions pertinentes et non pertinentes (les actions qui ne peuvent être classées dans une de ces catégories ne sont pas comptabilisées).

A. Novices

Ce problème est incontestablement le mieux réussi : un novice (N6) sur sept seulement échoue. Quatre d'entre eux (N2, N3, N5 et N7) produisent une résolution très rapide (64 secondes ou moins) et économique (4 ou 7 actions seulement). Trois novices (N2, N3 et N5) ne produisent aucune action non pertinente (efficacité égale à 1). Un novice (N5) n'affiche aucun paramètre, pas même la mesure du débit, inutile dans ce cas, manifestant ainsi un certain niveau d'expertise. Il est à noter que deux de ces novices ferment une vanne dans chacune des deux dernières branches, puis vérifient, hors résolution, ce qu'aurait donné la fermeture des vannes latérales.

Un cinquième novice (N4) se montre fort hésitant : il ferme les vannes adéquates, mais *petit à petit*, comme s'il travaillait sans hypothèse globale.

Le sixième novice (N1), quant à lui, finit par atteindre l'objectif (après 368 secondes), mais après avoir effectué plusieurs erreurs (notamment augmenter les «résistances» dans la première branche) ou des actions inutilement redondantes. Ainsi, après avoir fermé les vannes latérales, il agit pendant plusieurs minutes sur les vannes et rétrécissements de la partie du circuit fermée, ce qui n'a bien entendu aucun effet.

Un dernier novice (N6) estime, à tort, avoir atteint l'objectif après 103 secondes : il a omis d'ouvrir la vanne 7. La qualité du début de la résolution permet de faire l'hypothèse qu'il ne s'agit que d'un oubli.

B. Experts

Comme on peut s'y attendre, les trois experts résolvent de manière idéale ce problème : 4 actions seulement, et aucune action non pertinente. Deux d'entre eux procèdent de la manière la plus économique, et le dernier en fermant une vanne dans chacune des deux dernières branches. Deux experts (E1 et E2) n'affichent la valeur du débit en 7 qu'après avoir résolu le problème. Ils savent que dans ce cas la mesure chiffrée n'est pas nécessaire.

Problème 5 (Temps accordé : 10 minutes)

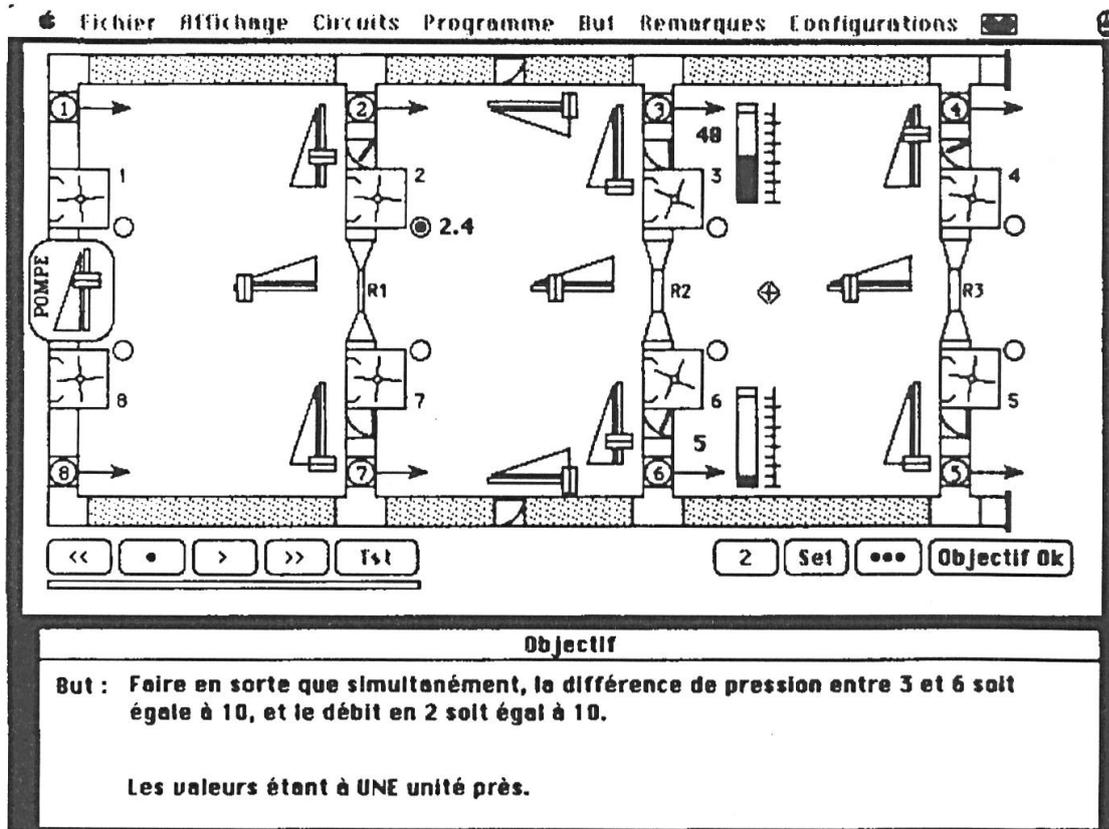


FIGURE 5. Schéma de présentation du problème 5 (Faire en sorte que simultanément la différence de pression entre 3 et 6 soit égale à 10, et le débit en 2 soit égal à 10. Les valeurs étant à une unité près).

Raisonnement attendu :

Dans un circuit comprenant des branches en parallèle, pour un débit déterminé, la différence de pression aux bornes d'un rétrécissement est proportionnelle à l'importance de celui-ci.

A chaque instant, le débit se répartit dans les branches de façon inversement proportionnelle à l'importance des «résistances» qui s'y trouvent.

Ce problème présente une certaine complexité : gestion d'une interaction débit - différence de pression (cfr. problème n° 3), connaissance de l'effet inverse des «résistances» sur le débit et la différence de pression dans une branche (inversement proportionnel et proportionnelle, respectivement), né-

cessité d’agir sur plusieurs éléments différents (4 au minimum) pour parvenir à la solution. Les sujets qui raisonnent localement éprouveront des difficultés à se «décentrer» sur la vanne latérale (vanne située dans le conduit inférieur ou supérieur sur la figure).

Réponse correcte.

Pour réduire la différence de pression entre 3 et 6, on peut éliminer les «résistances» dans cette branche, c’est-à-dire ouvrir R2 au maximum et ouvrir à fond la vanne 6. Après cela, la différence de pression entre 3 et 6 reste supérieure à 10 ; pour la réduire encore, il faut fermer un peu l’une des vannes latérales.

Le débit en 2 se trouve alors à une valeur inférieure à 10. Pour augmenter le débit, il suffit d’élargir le diamètre de R1 ou d’ouvrir un peu plus la vanne 2.

Résultats.

| | N1 | N2 | N3 | N4 | N5 | N6 | N7 | E1 | E2 | E3 |
|--|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Objectif atteint | Oui | Oui | Oui | Non | Oui | Oui | Oui | Oui | Oui | Oui |
| Temps nécessaire à la réussite (en secondes) | 306 | 135 | 292 | - | 488 | 287 | 134 | 70 | 227 | 192 |
| Nombre d'actions précédant la réussite | 58 | 18 | 51 | - | 58 | 32 | 29 | 9 | 18 | 17 |
| Adéquation totale de l'affichage des indices | Oui | Oui | Oui | Non | Oui | Oui | Oui | Non | Oui | Oui |
| Pauses | 2 | 3 | 3 | 3 | 7 | 6 | 1 | 0 | 5 | 4 |

TABLEAU 6 . Indices relatifs au problème 5.

A. Novices

La plupart des novices (six sur sept) parviennent à la solution, mais au terme d’un parcours comportant plusieurs erreurs ou actions inadéquates. Ainsi

quasi tous se montrent fort peu assurés quant à l'effet des «résistances» sur le débit et la différence de pression. Ils les accentuent ou les diminuent, un peu indifféremment, et rectifient plus ou moins vite si ça ne donne pas l'effet voulu. Deux des sujets (N2 et N7) découvrent rapidement la solution (fermeture partielle d'une vanne latérale ou diminution de la vitesse de la pompe). En revanche, plusieurs autres multiplient les essais dans la troisième branche et diminuent les «résistances» dans la branche 3-6 (après les avoir accentuées), plutôt que d'agir sur la vanne latérale. Dans ce dernier cas, il s'agit vraisemblablement des conséquences d'un mode de raisonnement local.

B. Experts

Les experts, de leur côté, n'ont pas résolu ce problème sans difficultés. L'un d'entre eux (E1) produit une résolution élégante et économique (un peu plus d'une minute) en agissant en premier lieu sur la vanne latérale. Les deux autres se montrent nettement moins efficaces (près de 4 minutes de résolution). Ils présentent tous les deux des actions totalement inappropriées (augmenter les «résistances» ou la vitesse de rotation de la pompe quand c'est l'inverse qu'il faut faire) ou superflues (actions dans la branche 4-5).

Conclusions

Dans cette situation de résolution de problèmes d'hydrodynamique simulés sur ordinateur, l'un des éléments les plus remarquables est l'importante variabilité inter-problèmes ou inter-situations de la qualité tant des stratégies déployées que des résultats obtenus. Certains des problèmes sont parfaitement résolus non seulement par les experts, mais par plusieurs des novices. En revanche, face à d'autres problèmes, les experts eux-mêmes se trouvent en difficulté et commettent des erreurs non négligeables sur le plan théorique. Leur manque de familiarité avec le système (circuit hydraulique simulé) - voire avec la souris -, auquel il faut ajouter la difficulté de gérer l'interaction de plusieurs paramètres, ébranleraient donc des raisonnements physiques en principe bien assurés (voir les réponses des mêmes sujets à une épreuve écrite).

On ne peut donc opposer de manière simple *le* comportement des experts, qui serait globalement efficace, à celui des novices, qui ne le serait point. Les démarches des experts présentent des lacunes que l'on peut analyser à deux

points de vue : connaissances mises en oeuvre et stratégies déployées. Il arrive à chacun d'eux de produire des actions que leur connaissance des principes de l'hydrodynamique attestée par ailleurs (Voir BLONDIN, LAFONTAINE, CLOSSET, 1992), devrait les conduire à éviter, s'ils mettaient en oeuvre un schéma ou une théorie physique correcte. Pour rendre compte de nos observations, toute modélisation devrait s'écarter de la rigidité des schémas, et faire place à divers facteurs susceptibles d'interférer, dans l'action, avec la simple mise en oeuvre de connaissances, tels que la centration sur une difficulté motrice, la non-familiarité avec le dispositif, l'échec répété etc. Plus surprenantes encore sont les lacunes dans les démarches des experts, dont la compétence scientifique peut difficilement être mise en doute : les erreurs ou lacunes dans l'affichage des paramètres correspondant aux objectifs, les actions totalement inappropriées, les persistances dans l'erreur malgré les feedback s'expliqueraient-ils par une attitude plus «théorique», la démarche étant davantage guidée par la conception que se fait le sujet que par les informations en provenance de son environnement ?

Même si les experts ne présentent pas le comportement auquel on pourrait s'attendre, certaines différences de stratégies peuvent toutefois être soulignées, bien qu'elles ne recouvrent pas totalement l'opposition experts/novices. Ainsi, le nombre généralement réduit d'actions nécessaires aux experts pour atteindre l'objectif suggère que ceux-ci fondent leur stratégie sur un certain nombre d'hypothèses théoriques et ne présentent pas de «réponses-actions» (KARMILOFF-SMITH, 1979). Certains novices, en revanche, au moins dans l'un des problèmes, ne semblent pas loin de telles «réponses-actions», ce qui peut expliquer, paradoxalement, leur rapidité à découvrir la solution de certains problèmes, qui demandent peu d'élaboration théorique.

En une vue quelque peu schématique, on peut considérer que deux experts sur trois se conduisent en «théoriciens» (KLAHR et DUNBAR, 1988). Ils mettent manifestement en oeuvre un cadre d'hypothèses théoriques duquel ils ne s'écartent guère pour des explorations plus aléatoires. Les novices, de leur côté, ainsi que le troisième expert, se comportent plutôt en «expérimentateurs». Ils mettent l'une ou l'autre hypothèse à l'épreuve (qui correspond souvent chez les novices au raisonnement local), puis réalisent d'autres explorations apparemment plus aléatoires, si la première hypothèse ne se trouve pas confirmée.

On soulignera toutefois la difficulté, au moment de conclure, de tracer des lignes d'opposition aux contours bien définis, dès lors que l'on soumet les sujets à un éventail de situations-problèmes, et non à un problème unique comme il en va d'ordinaire dans les études consacrées à la résolution de

problèmes. L'approche méthodologique utilisée dans la présente étude, dont on rappellera le caractère limité, laisse transparaître la variabilité du comportement des sujets, qu'ils soient experts ou novices, et invite à une remise en cause des typologies établies à partir d'études plus «classiques» (résolution d'un seul problème). La résolution de tel ou tel problème ne se ramène pas à la mise en application d'un schéma ou d'une théorie constituée. Comme l'avaient déjà souligné les études consacrées à la résolution de problèmes isomorphes (HAYES et SIMON, 1977) ainsi que YATES et al. (1988) et BASTIEN (1987), des variations même mineures dans la situation de résolution de problèmes peuvent influencer considérablement le processus de résolution.

- ¹ Ce texte présente des résultats de recherches du Programme national d'impulsion à la recherche fondamentale en intelligence artificielle, mis en oeuvre 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 Hydrosimulateur 1.0 est un logiciel de simulation de problèmes d'hydrodynamique écrit en V.I.P. (Visual Interactive Programming) par S. Lejoly.
- ³ La pause est ici définie comme un intervalle de 15 secondes au moins entre deux actions du sujet sur le circuit.
- ⁴ Dans chaque cas, le schéma figure la situation de départ ; les valeurs des principaux paramètres (invisibles pour les sujets jusqu'à ce qu'ils les demandent) y sont indiquées.
- ⁵ Nous employons le terme «résistance» par analogie avec l'électricité. Nous appellerons «résistance» d'une portion du circuit et en particulier d'un rétrécissement le rapport de la différence de pression aux bornes de cette portion de circuit ou de ce rétrécissement au débit qui la(le) traverse. Pour un fluide déterminé, à température constante, cette «résistance» n'est fonction que des dimensions de la portion de circuit ou du rétrécissement.
- ⁶ Il s'agit ici du rapport entre le nombre d'actions exercées sur des paramètres susceptibles d'intervenir dans la résolution du problème et la somme du nombre d'actions sur ces paramètres et des actions sur des paramètres non pertinents.
- ⁷ L'adéquation totale suppose ici qu'aucun indice ne soit affiché : même le débit en 7 est inutile.
- ⁸ Cet indice représente le rapport entre le nombre d'actions pertinentes et le total des actions pertinentes et non pertinentes (les actions qui ne peuvent être classées dans une de ces catégories ne sont pas comptabilisées).

Bibliographie

- BASTIEN, C. (1987), *Schémas et stratégies dans l'activité cognitive de l'enfant*. Paris : Puf.
- BLONDIN, C., CLOSSET, J.-L., et LAFONTAINE. D. (Juillet-Août-Septembre 1992), Raisonnements naturels en hydrodynamique. *Revue française de pédagogie*, 100.

- CHI, M. T. H., FELTOVICH, P. et GLASER, R. (1981), Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive science*, 5, 121-152.
- 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.
- GLASER, R. et CHI., M. (1988), Overview. In M. CHI, R. GLASER, M. J. FARR (Eds), *The nature of expertise*. Lawrence Erlbaum Associates, XV-XXXVI.
- HAYES, J. R. et SIMON, H.A. (1977), Psychological differences among problem isomorphs. In N.J. CASTELLAN, D.B. PISONI et G.R. POTTS (Eds). *Cognitive theory*. Vol 2. Lawrence Erlbaum Associates.
- KARMILOFF-SMITH, A. (1979), Problem-solving procedures in children's construction and representations of closed railway circuits. *Archives de Psychologie*, XLVII, 180, 37-59.
- KARMILOFF-SMITH, A. et INHELDER, B. (1985), If you want to go ahead, get a theory. *Cognition*, 3(3), 195-212.
- KLAHR, D. et DUNBAR, K. (1988), Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive science*, 1, 1-48.
- LAFONTAINE, D., BLONDIN, C., CLOSSET, J.-L. et LAFONTAINE, A. (1990), Résolution de problèmes d'hydrodynamique face à un circuit concret. *European Journal of Psychology of Education*, V (4), 517-531.
- McCLOSKEY, M. (1983), Naïve theories of motion. In D. GENTNER et STEVENS (Eds), *Mental models*. Lawrence Erlbaum Associates: 1983, 299-324.
- RASMUSSEN, J. (1981), Models of mental strategies in process plant diagnosis. In J. RASMUSSEN et W.B. ROUSE (Eds), *Human detection and diagnosis of system failures*. New York : Plenum Press. Nato Conference Series.
- VIENNOT, L. (1979), Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1(2), 205-221.
- YATES, J., BESSMAN, M., DUNNE, M., JERTSON, D., SLY, K., WENDELBOE, B., (1988), Are conceptions of motion based on a naïve theory or on prototypes ? *Cognition*, 29, 251-275.

Experten und Novizen im Umgang mit computersimulierten Wasserstromkreisen

Zusammenfassung

Die Untersuchung vergleicht Problemlösestrategien von Experten und Novizen in der Hydrodynamik. Das notwendige Wissen aus der theoretischen Physik wird zunächst anhand eines schriftlichen Fragebogens erhoben. Anschliessend

wird jeder Proband gebeten fünf Probleme zu lösen, die auf dem Computer simuliert werden: Der Proband bedient Bauelemente, die wie reale Bauelemente reagieren. Alle Wechselwirkungen mit dem System und alle aufeinanderfolgenden Zustände des Systems werden vollständig erfasst. Die zu behandelnden Probleme sind selbst für Experten keine Routineaufgaben. Ein typisches «natürliches Denkmuster» macht sich bei den Novizen stark bemerkbar. Dieses Denkmuster hat eine grobe intra- und interindividuelle Schwankungsbreite, die teilweise auf kleine Unterschiede zwischen den Situationen zurückgeführt werden kann.

Experts and novices faced with a computer-simulated hydraulic circuit

Summary

This study compares the problem solving strategies of experts and novices in the field of hydrodynamics. After theoretical knowledge has been assessed by means of a questionnaire, each subject has been invited to solve five computer simulated problems: subjects manipulate elements of the circuit that reacts like a real one. All interactions with the system, as well as the successive states are fully recorded. Problems are far from being routine, even for experts. A typical «natural reasoning», called «local reasoning», is found among novices and a large intra- and inter-individual variability can be observed, probably due to minor differences in settings.