

## À PROPOS DE CIRCUITS ÉLECTRIQUES ÉLÉMENTAIRES CONCEPTIONS ET RAISONNEMENTS SPONTANÉS D'ENFANTS DE 6 ANS

Anne MARS-GOURAUD, Franck JAMET

*Psychologie cognitive développementale*

*UFR Psychologie, Pratiques Cliniques et Sociales, Université Paris VIII*

*2, rue de la Liberté, F-93526 Saint-Denis Cedex 02, France*

*Mel : dgouraud@club-internet.fr*

### Résumé

*Cette recherche s'intéresse aux conceptions et raisonnements spontanés électrocinétiques, chez l'enfant de 6 ans. Elle a pour objectif de mettre en évidence l'invariance des représentations du monde dans ce domaine depuis l'enfant jusqu'à l'adulte non expert. Face à des circuits électriques élémentaires montés en série et en dérivation, nous voulons montrer comment l'enfant de 6 ans se représente l'électricité et quels sont ses jugements prédictifs sur les notions électrocinétiques de brillance relative des ampoules, de conservation de la charge, de règle des nœuds. Nos résultats suggèrent qu'à cet âge, prédomine la représentation "unipolaire" du courant, de structure causale linéaire avec agent (pile) et patient (ampoule). Le raisonnement électrocinétique s'appuie sur deux variables explicatives causales : l'espace-temps et le quantitatif. Confrontés aux études menées auprès d'adolescents et d'adultes, nos résultats élargissent l'empan d'invariance du développement cognitif dans ce domaine.*

### 1. Introduction

Lorsqu'il s'agit d'appréhender la réalité du monde physique qui nous entoure, peu d'adultes raisonnent comme le physicien (Crépault, 1993). Pourtant, " *le réel observé par le physicien est aussi pour une bonne part celui dans lequel évolue l'enfant depuis sa naissance* " (Dupin et Johsua, 1988). Qu'est ce qui fait obstacle au développement de la connaissance " scientifique ", celle qui serait conforme au modèle physique du monde qui nous entoure ? P. Léna, préfaçant le livre de Viennot (Viennot, 1996) rappelle que, de tout temps, c'est notre sens commun qui interprète la réalité du monde physique non suggérée par le matériel. Bachelard (1938) identifiait déjà le sens commun comme premier obstacle épistémologique à franchir pour accéder à un mode de pensée scientifique : " *en s'imposant à nous par son évidence, il ferme la porte à toute réfutation. Il est donc restrictif et résistant à tout changement* ". Il semble que l'invisibilité du phénomène physique prédispose naturellement à son transfert analogique sur un objet. Car une fois délimité dans le temps et dans l'action par les propriétés physiques et fonctionnelles de l'objet, l'invisible phénomène devient imaginable et mesurable.

L'électricité, comme partie du domaine et base conceptuelle de notre travail, fournit un bon exemple de cette difficulté à appréhender la réalité du monde physique qui nous entoure. Les recherches montrent que l'adolescent puis l'adulte non expert persistent dans certaines conceptions erronées, alternatives aux conceptions canoniques du phénomène physique. L'invariance de ces erreurs provient du fait qu'elles reposent sur le sens commun. Ce sont des conceptions spontanées, intuitives. Efficaces dans la vie quotidienne, elles s'imposent de manière récurrente, résistent au changement lors de l'enseignement, et filtrent le réel observé. Se développant et perdurant en dehors de toute intervention didactique, on peut se poser la question de leur moment d'apparition. Existente-elles chez l'enfant ? Peut-on parler d'une évolution cognitive avec l'âge et l'expérience du sujet ? Jusqu'à présent,

peu d'études concernaient les jeunes sujets, étant donné l'abstraction du domaine et son niveau d'enseignement (en France, classe de 4<sup>ème</sup> en collège). Or, depuis 1995, l'Éducation Nationale française introduit à l'école primaire les premières notions d'électrocinétique, sous forme d'initiations basées sur la découverte. Il semble donc important d'identifier les conceptions et raisonnements spontanés de l'enfant dans ce domaine, afin d'établir un lien avec les études menées auprès de sujets plus âgés. Il serait alors possible d'envisager, dans une perspective génétique et didactique élargie, une prise en compte coordonnée de l'expérience concrète du sujet et de sa capacité à traiter l'information selon son niveau développemental. Tels sont nos objectifs de recherche.

### 2. Contexte théorique

Les travaux menés, dans le cadre de la recherche en didactique des sciences et en psychologie cognitive développementale, sont à l'origine de nos hypothèses. Qu'ont-ils mis en évidence sur les conceptions physiques et fonctionnelles de l'électricité, sur le raisonnement électrocinétique ?

Dès 7-8 ans (Shipstone, 1985 ; Tiberghien et Delacôte, 1976) l'enfant a déjà quelques idées sur la fonctionnalité des " objets-électricité " : l'objet-pile délivre l'électricité, c'est la " source " ; l'objet-ampoule reçoit l'électricité (ou la prend) et l'utilise pour produire l'effet d'éclairage attendu, c'est le " receveur-consommateur ". Le fil électrique peut être accessoire de l'ampoule ou jonction entre la pile-réservoir et la lampe qui accueille. Par contre, ce qui est consommé peut s'appeler indifféremment électricité, courant, énergie, puissance, " jus ". Il en résulte une compréhension univoque du phénomène physique, en terme d'électricité ou de courant électrique, centrée sur l'idée de source-consommation. Cette unité cognitive de la représentation de l'électricité constitue le " noyau dur ", invariant jusqu'à l'âge adulte. Cependant, tout au long de son apprentissage scientifique, l'enfant puis

l'adolescent (Shipstone, 1985 ; Dupin et Johsua, 1988) va utiliser différents modèles de courant. Chez les plus jeunes sujets (7-12 ans), prédominent les modèles de courant Unipolaire (une seule extrémité de la pile est considérée comme active) et Bipolaire (les deux pôles de la pile délivrent simultanément le courant). Ne prévoyant pas de retour de courant à la pile, la fermeture du circuit électrique est concrètement finalisée par une simple trajectoire du courant de la pile à l'ampoule. Coïncidant le plus souvent avec les débuts de l'enseignement, apparaît, vers 12 ans, le modèle de courant Unidirectionnel : le courant part d'un pôle de la pile, traverse l'ampoule et retourne à la pile par son autre pôle. Compatible avec le modèle physique, ce modèle de courant signe l'acquisition de la notion de circuit fermé et donc d'une conception exacte du sens du courant. Cependant celui-ci implique un changement dans la représentation fonctionnelle du phénomène physique : la fonctionnalité distincte d'objets-électricité (la pile délivre à l'ampoule ce dont elle a besoin pour éclairer) se trouve reliée à la fonctionnalité d'un objet-électricité dominant (un même courant électrique circule à travers les différents éléments d'un circuit). Ainsi, la pile et l'ampoule deviennent les différentes parties d'un tout — le courant électrique en circuit fermé. Or ce "tout" ne peut plus se différencier par son contenant comme précédemment : l'électricité de la pile ou l'électricité de l'ampoule ne peut devenir l'électricité du courant. Une confusion s'installe dans la représentation fonctionnelle de l'objet-électricité, qui se trouve réduite à l'aspect physique (déplacement d'électrons), ignorant l'aspect fonctionnel (transport de l'énergie) :

*" Le courant électrique est considéré comme un fluide circulant dans des tuyaux, exactement comme de l'eau dans un circuit de plomberie. Ce fluide a une nature mixte, à la fois matériel et énergétique. Les aspects matériels sont liés à la conservation de quelque chose, et les aspects énergétiques sont liés à la consommation d'autre chose. Ces deux aspects ne sont bien entendu pas séparés dans l'esprit du sujet "* (Dupin et Johsua, 1988)

Cette métaphore du fluide en mouvement constitue la principale source d'erreurs attachées à ce modèle de courant Unidirectionnel.

Un premier raisonnement erroné, qualifié de " non conservant ", se rattache au principe physique de conservation de la charge électrique : un même courant électrique circule à travers tous les éléments d'un circuit. Il n'y a pas consommation de courant car il y en a autant qui quitte la pile et qui y revient. Comment justifier alors d'une usure de la pile étant donné que le flux de courant circule en circuit fermé ? La nature mixte prêtée au fluide en mouvement (les électrons sont à la fois flux et énergie) conduit le sujet à mettre en relation causale les éléments suivants : puisque la pile s'use, c'est bien que le courant s'use au passage de l'ampoule. Si l'ampoule consomme du courant, il y aura moins de courant après l'ampoule qui retourne à la pile, alors la charge ne sera pas conservée. En réalité, le flux de courant permet de transporter l'énergie depuis la pile (où elle est stockée sous forme chimique) jusqu'à la lampe (où elle est dissipée sous forme de rayonnement et de chaleur). L'usure de la pile, c'est l'usure de l'énergie stockée sous

forme chimique. Ce type de raisonnement non conservant semble indépendant du raisonnement sur la brillance relative des ampoules puisqu'il s'applique tant au modèle " atténuation " qu'au modèle " partage " décrits par Shipstone (Shipstone, 1985) (voir figures 1 et 2) pour un circuit électrique simple avec deux ampoules montées en série pour une pile.

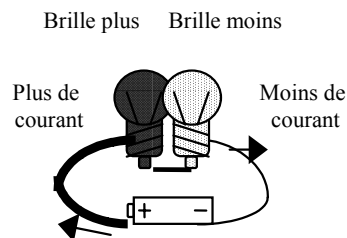


Figure 1 — Modèle de courant " atténuation "

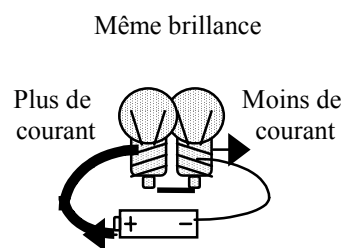


Figure 2 — Modèle de courant " partage "

Un autre raisonnement spontané erroné apparaît lorsque sont abordées les notions électrocinétiques (Loi d'Ohm) sur des circuits électriques plus complexes (des résistances fixes ou variables). Il s'agit du raisonnement séquentiel ou *time-dependent model* (Closset, 1988 ; Shipstone, 1985). Il se caractérise par une lecture du circuit, dans le sens unique donné à la circulation du courant, de l'amont vers l'aval, avec pour conséquence première, un traitement local de l'effet d'une variation sur l'ensemble du circuit. Ainsi, quel que soit le montage du circuit (série ou dérivation), une résistance variable, placée avant une lampe sera jugée avoir un effet sur celle-ci ; placée après, elle sera jugée sans effet. Ce raisonnement peut évoluer secondairement vers une indifférenciation entre la tension et le courant. C'est le raisonnement séquentiel du second degré ou générateur de courant constant (Dupin et Johsua, 1988). Les sujets considèrent la pile comme délivrant un courant constant (au lieu d'une tension constante), indépendamment du circuit sur lequel il est connecté (série ou dérivation). Ceci les amène à penser que la valeur numérique de la tension (l'unité est le volt), en tout point du circuit, est égale à la valeur numérique de la tension de la pile. C'est la réponse correcte pour un circuit en dérivation (la tension aux bornes d'un générateur est égale à la tension appliquée aux bornes des appareils montés en dérivation) mais une réponse incorrecte pour un circuit en série (la tension aux bornes d'un générateur est égale à la somme des tensions appliquées aux bornes des appareils montés en série).

Ainsi, le domaine de l'électrocinétique présente, même au niveau inter culturel européen (Shipstone *et al.*, 1988), une difficulté majeure : celle de concevoir le circuit électrique comme un système global, soumis à des contraintes (le montage spécifique des éléments du

circuit) qui déterminent simultanément intensité et tension dans ce circuit :

*“ Alors que le raisonnement du physicien en électrocinétique nécessite d’avoir à l’esprit un fonctionnement interactif systématique entre les objets du circuit, c’est le raisonnement linéaire causal entre objets avec des fonctionnalités fixes qui s’impose ”* (Koumaras et al., 1997).

Effectivement, le sujet considère le circuit localement, raisonnant spontanément selon une chaîne de causalités simples, liées par une relation d’ordre stricte et déroulant leurs effets successivement dans le temps. La cause y précède l’effet.

*“ Cette structure explicative a une prégnance tout à fait considérable dans les débuts d’une science et semble avoir une influence durable dans les raisonnements des apprenants ”* (Johsua et Dupin, 1993).

### 3. Hypothèses

Notre hypothèse générale s’inspire du caractère invariant, persistant et pluri-culturel des données observées dans ce domaine. Si le réel observé par le physicien est en grande partie celui dans lequel évolue l’enfant depuis sa naissance, nous supposons que les conceptions et raisonnements spontanés se mettent en place dès le plus jeune âge, et que leur structure conceptuelle, très stable, les rend invariants au cours du développement cognitif. Leur précocité d’apparition permettrait d’expliquer à la fois leur prégnance et leur résistance au changement, tant au cours de l’enseignement qu’après, chez l’adulte non expert.

Plus spécifiquement, à propos des conceptions spontanées de l’objet-électricité, nous prévoyons que nos jeunes sujets se situent au premier niveau de la représentation cognitive : le non-retour du courant à la pile, qui peut se manifester par un modèle de courant unipolaire ou bipolaire.

Pour ce qui est du raisonnement électrocinétique, nous pensons retrouver le même raisonnement séquentiel (1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup> degré) que celui des sujets plus âgés. Cependant nos hypothèses doivent supposer un mode de raisonnement compatible avec les capacités de nos sujets à traiter l’information. En effet, l’enfant de 6 ans ne peut concevoir, *a priori*, l’impact d’un montage en série ou en dérivation sur le courant. Nous prévoyons une absence d’effet de cette variable dans ses réponses aux différentes notions d’électrocinétique. De même, nous supposons qu’il est contre intuitif à 6 ans de penser qu’une seule ampoule (alimentée par une pile) pourrait briller davantage que deux ampoules (montées en série, alimentées par une même pile). La relation directe “plus...plus” est trop prégnante à cet âge pour que puisse émerger la relation inverse “plus...moins”. C’est pourtant la réponse correcte à donner pour notre première situation électrocinétique présentée. Pour intégrer ce biais de réponse correcte, nous prévoyons d’envisager la réponse à la brillance, pour cette situation, sous l’angle plus général d’une inégalité de brillance entre les ampoules, plutôt que sous l’angle d’une brillance supérieure ou inférieure. Ainsi, partant du principe observé que l’enfant de 6 ans se représente l’électricité de manière linéaire (pas de retour prévu à la

pile), selon un mode unipolaire (un seul pôle de la pile est actif) ou bipolaire (les deux pôles de la pile délivrent simultanément le courant), nous supposons qu’il va centrer son raisonnement entre le point de départ et le point d’arrivée du courant, c’est à dire entre la pile et l’ampoule. En analogie avec le modèle d’“Élaboration de règles décisionnelles” de Siegler (Siegler, 1981), nous prévoyons un raisonnement électrocinétique global (brillance relative des ampoules, conservation de la charge, règle des nœuds), progressant vers le modèle physique selon quatre règles hiérarchisées, se complexifiant par ajout de variables à traiter.

- Avec la **règle R1**, et un modèle de courant unipolaire, nous supposons que le sujet centre son raisonnement sur une variable, le point d’arrivée de l’électricité, c’est-à-dire sur l’ampoule. Tout élément surnuméraire placé sur le trajet du courant va différer ce point d’arrivée et par conséquent faire varier la distance qui sépare la pile de l’ampoule. Plus la distance est grande, plus l’électricité s’amenuise. Caractérisée par un traitement séquentiel spatial du circuit, cette règle va conduire le sujet à donner des réponses de différence de brillance entre les ampoules, avec une brillance plus forte pour l’ampoule la plus proche de la pile ; une non conservation de la charge après le passage du courant à travers la première ampoule (qui va consommer) ; une règle des nœuds non respectée car la présence des branches secondaires du nœud éloigne encore davantage la pile de l’ampoule, renforçant l’idée d’une électricité amoindrie au point d’arrivée à l’ampoule.
- Avec la **règle R2**, et un modèle de courant Unipolaire, nous supposons que le sujet ne considère plus un point d’arrivée à l’ampoule mais plutôt une ligne d’arrivée à l’(aux) ampoule(s). Si l’arrivée du courant s’effectue sur une même “ligne” (perceptive), horizontale (pour des ampoules montées en série) ou verticale (pour des ampoules montées en dérivation), le courant arrive en même temps aux ampoules. Si les ampoules sont identiques, alors elles auront la même brillance. Caractérisée par un traitement symétrique et temporel du circuit, cette règle va conduire le sujet à donner des réponses d’égalité de brillance entre les ampoules, parce que ce sont les mêmes ampoules et que le courant arrive en même temps. La charge électrique ne sera pas conservée après la deuxième ampoule car le modèle de courant unipolaire ne prévoit pas de retour à la pile. S’appuyant sur un critère qualitatif (temporel), le sujet ne peut respecter la règle des nœuds car il y a un même courant quelle que soit la branche du nœud considérée.
- Avec la **règle R3**, et un modèle de courant Bipolaire, le sujet dépasse le point de vue qualitatif pour s’attacher au quantitatif. Caractérisé par une progression symétrique et simultanée de deux courants issus de la pile vers l’ampoule, le modèle bipolaire réunit, en une seule représentation, le critère spatial et le critère temporel : chaque pôle de la pile délivre un même courant qui parcourt la même distance et arrive au même moment à l’ampoule. La variable spatio-temporelle devenue constante, le sujet peut centrer son raisonnement sur la différence quantitative entre éléments du circuit. Attaché à une

représentation très prégnante de la pile comme source du courant, le sujet décidera qu'en présence d'une seule et même pile la même quantité de courant est délivrée, il y aura donc même brillance des ampoules. En revanche, une ampoule alimentée par deux piles brillera davantage qu'une ampoule alimentée par une seule pile. Avec ce double changement (critère et modèle de courant), nous prévoyons l'émergence de réponses correctes à la conservation de la charge. En effet, si la variabilité du courant n'est plus subordonnée qu'au nombre de piles, (une pile délivrera "une quantité" de courant, deux piles en délivreront "deux"), la charge peut être conservée sur l'ensemble du circuit. Ceci est d'autant plus vrai que le modèle de courant bipolaire présente une certaine forme de fermeture opératoire du circuit électrique. Concernant la règle des nœuds, nous supposons qu'en situation de deux piles montées en dérivation pour une ampoule, le sujet peut appliquer la règle additive des intensités à la branche principale du nœud car il y aura deux quantités de courant délivrées par les deux branches secondaires du nœud. En situation de deux ampoules montées en dérivation, la règle additive ne peut s'appliquer car avec une pile il n'est délivré qu'une seule quantité de courant.

- Avec le sujet de la **règle R4**, et un modèle de courant bipolaire, le critère quantitatif ne concerne plus seulement les piles mais aussi les fils électriques car ces derniers sont considérés comme un prolongement de la pile et donc comme une "issue" du courant à la sortie de la pile. Dans la situation de deux piles en série pour une ampoule (cas S3 de l'expérimentation, voir infra § 4.3 et figure 11 page suivante), le sujet additionne l'électricité des deux piles et constatant l'unique issue (un seul fil) pour contenir le courant, juge d'une inégalité de brillance inter circuit (réponse correcte). Dans la situation de deux piles en dérivation pour une ampoule (cas S4 de l'expérimentation), le sujet constate que chaque issue de la pile possède son fil. Même s'il y a deux piles et donc plus de courant, deux piles avec deux fils, c'est la même chose qu'une pile avec un fil. Il en est déduit une égalité de brillance inter circuit (réponse correcte). Dans les situations avec une pile pour deux ampoules (cas S1 et S2 de l'expérimentation), montées respectivement en série et en dérivation, la réponse à la brillance des ampoules intra circuit B sera identique : "elles vont briller pareilles car il y a une seule pile" (réponses correctes). Nous pensons que la règle R4 représente le niveau d'organisation le plus élevé dans ce domaine, pour l'enfant de 6 ans. Elle permet d'aboutir à une "pseudo" réponse correcte (raisonnement sous-jacent non conforme au modèle physique) pour les trois notions d'électrocinétique. Enfin, nous posons l'hypothèse d'un lien entre les modèles de courant et l'utilisation privilégiée d'une règle. Le modèle de courant unipolaire favoriserait l'utilisation des règles R1 et R2 (un seul pôle actif de la pile) ; le modèle bipolaire privilégierait l'utilisation des règles R3 et R4 (chaque pôle de la pile est actif et compose une fermeture symétrique du circuit).

#### 4. Méthode

Notre expérimentation s'inscrit dans une double perspective : identifier les représentations spontanées en électrocinétique d'enfants de 6 ans et contrôler leur variabilité par des mesures appareillées.

##### 4.1. Sujets

Nous avons observé individuellement, mais à deux reprises (trois semaines d'intervalle), 45 enfants de Cours Préparatoire, âgés de 6 ans, dans une école primaire du 18ème arrondissement parisien. Ces enfants n'avaient reçu aucun "enseignement" sur le sujet. Deux expérimentatrices ont effectué ces passations. La première passation (t1) s'est échelonnée sur sept jours. La deuxième (t2), strictement identique à la première, a eu lieu trois semaines après. La durée de passation a été d'environ vingt minutes par enfant. La répartition des enfants entre les deux expérimentatrices s'est faite sur désignation des institutrices.

##### 4.2. Matériel

La première feuille de recueil individuel des données concerne la phase de familiarisation : le vocabulaire de l'enfant, la notion de fermeture du circuit par anticipation à l'action d'allumage d'une ampoule avec une pile, et le sens donné au passage du courant. Les feuilles suivantes présentent successivement les quatre situations d'électrocinétique. L'âge des sujets et l'objectif de l'étude nous ont orientés vers la conception d'un matériel concret, qui se construit sous les yeux de l'enfant. Nous nous sommes attachés à ce que la longueur et la disposition des fils électriques soient parfaitement identiques. Une inégalité de longueur pourrait justifier, dans le raisonnement de l'enfant, d'une moindre brillance ou d'une non conservation de la charge. Le matériel comprend des piles rondes (1,5 V), des ampoules à vis (0,3 A), des fils électriques noirs de même taille (13 cm), dénudés d'un côté et munis d'une cosse de l'autre, un support de pile (figure 3) connecté avec les deux fils électriques, des supports d'ampoules (figure 4) et un socle en bois pré-équipé de fils électriques selon le modèle de circuit électrique simple (figure 5).



Figure 3 — Support de pile

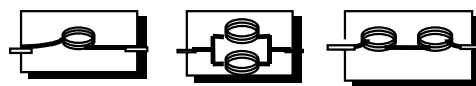


Figure 4 — Supports d'ampoules à pas de vis

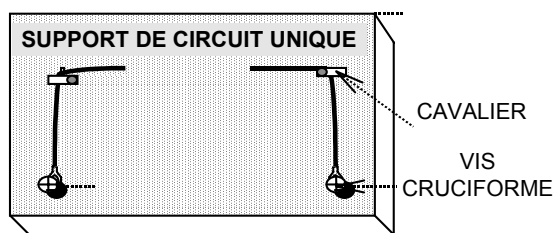


Figure 5 — Support en bois, pré-câblé, d'un circuit électrique élémentaire

Un second socle en bois est pré-équipé en vue d'une comparaison entre deux circuits (figure 6). Il ne reste plus qu'à placer, pour chaque situation présentée, les supports de piles et d'ampoules.

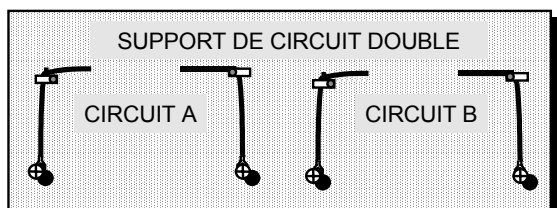


Figure 6 — Support en bois, pré-câblé, pour les 4 situations d'électrocinétique

### 4.3. Procédure

#### 4.3.1. La phase de familiarisation

Pour connaître le vocabulaire employé par l'enfant, l'expérimentateur présente la pile, l'ampoule et les deux fils électriques (figure 7) et demande : " as-tu déjà vu toutes ces choses là ? Qu'est-ce que c'est ? À quoi ça sert ? ". On coche les termes utilisés par l'enfant pour désigner ces objets.



Figure 7 — Les trois objets élémentaires d'un circuit électrique simple

Pour la notion de fermeture du circuit, l'expérimentateur dispose la pile dans le support, saisit l'ampoule, l'approche de la pile en simulant l'allumage (figure 8) et demande : " si je touche le fil avec l'ampoule, est-ce que ça va s'allumer, briller ou pas ? ". On note la réponse " oui / non " et l'argument exprimé.

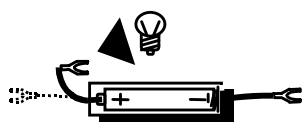


Figure 8 — Anticipation à l'action d'allumage

Afin d'observer le sens du courant, on introduit le support en bois et le support d'ampoule pour réaliser un circuit électrique simple (figure 9). Le vissage de l'ampoule établit le contact. On demande : " montre-moi avec ton doigt comment ça brille, comment ça éclaire ? ". L'enfant pointe un élément ou un endroit précis du circuit. S'il n'arrête pas son geste, d'un mouvement de doigt, il longe le circuit jusqu'à stopper sur un élément ou un endroit précis. Nous considérons l'ensemble du geste comme l'expression du sens du courant donné par l'enfant. La réponse est relevée sur un schéma préparé à l'avance.

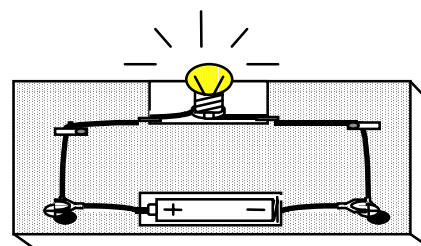


Figure 9 — Un circuit électrique simple, allumé

Pour faire le lien avec l'étape suivante, on précise à l'enfant : " maintenant, je vais te montrer une planche de bois plus grande avec plus de choses dessus " (figure 10). Lors de l'échange des circuits, on fait constater à l'enfant la similitude entre le circuit unique qu'il vient de voir et la partie gauche du nouveau circuit présenté. On ne touchera plus au circuit A, qui servira de base de comparaison au circuit B par la suite.

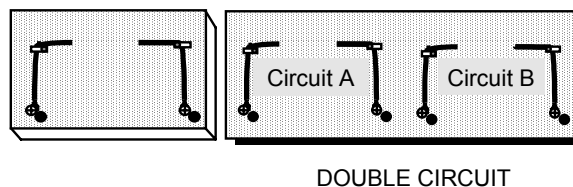


Figure 10 — Supports de circuit électrique unique et double circuit

#### 4.3.2. La phase d'anticipation

La deuxième phase qui présente successivement quatre circuits électriques élémentaires, faisant varier les montages en série et en dérivation des ampoules puis des piles (figure 9) est introduite : " tu vas regarder là (circuit A) et là (circuit B). Tu devras me dire si tu penses que les ampoules vont briller pareil ou pas pareil. Et puis s'il y a la même chose, là (fil gauche circuit B) et là (fil droit circuit B) ou pas ".

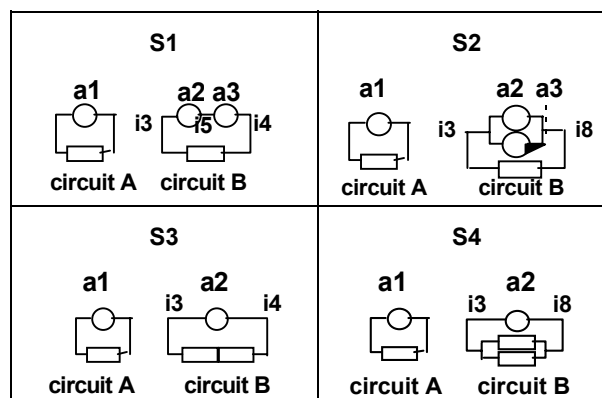


Figure 11 — Les quatre situations d'électrocinétique

Pour chaque situation, l'enfant doit se prononcer et justifier sa réponse :

- sur la brillance relative des ampoules (circuits A/B) : " d'après toi, est-ce que les ampoules vont briller pareil ou pas ? ",

- sur la conservation de la charge intra-circuit B : “ pour toi, est-ce qu’il y a la même chose (d’électricité) là (fil électrique à gauche de la pile) et là (fil électrique à droite de la pile) ? ”,
- sur la règle des nœuds (situations de “ dérivation ” S2 et S4) : “ d’après toi, est ce qu’il y a la même chose (d’électricité), là et là (comparaison entre la branche principale du nœud, i3, et l’une des deux branches secondaires, i4), et puis là et là (comparaison entre les deux branches secondaires du nœud, i4 et i5) ? ”.

### 5. Résultats

Nos résultats sur les conceptions spontanées de l’électricité confirment les données observées antérieurement. Une majorité d’enfants (75 % en t1 ; 60% en t2) anticipent l’action d’allumage d’une ampoule avec une pile selon un mode linéaire et unipolaire : ne prévoyant pas de retour de courant à la pile, le circuit reste “ ouvert ” ; en ne faisant intervenir qu’une seule région de contact sur la pile et l’ampoule, l’enfant considère ces objets comme des objets unipolaires.

Cette conception spontanée reste stable d’une passation à l’autre (test McNemar = 2,59 ; dl = 1 ; p < .05). Concernant le sens donné au passage du courant, les modèles Unipolaire et Bipolaire sont majoritaires pour les deux passations. Le modèle de courant Unidirectionnel, non prévu à cet âge, concerne 22 % des sujets en t1 et 11% en t2.

Le modèle de courant “ Autre ” ne donne pas de sens explicite au courant. Il ne fait que désigner le ou les

objets, pile et ampoule. Enfin, 62% des sujets changent de modèle de courant d’une passation à l’autre (tableau 1).

**Tableau 1** — Fréquences des modèles de courant entre la 1ère (t1) et la 2ème (t2) passation

	Modèles de courant	t2				Tot
		A	UP	BP	UD	
t1	A : Autre	1	3	2	0	6
	UP : Unipolaire	3	8	5	2	18
	UD : Unidirectionnel	4	2	5	0	11
	UD : Unidirectionnel	0	4	3	3	10
	<b>Total</b>	8	17	15	5	45

À propos du raisonnement électrocinétique, nos résultats suggèrent qu’il n’y a pas un modèle de raisonnement global. En effet, les quatre règles prévues, englobant chacune les trois notions électrocinétiques, ne prédisent que 53 % des réponses observées en 1<sup>ère</sup> passation et 62 % en 2<sup>ème</sup> passation (tableau 2).

En revanche, pour la seule notion de brillance des ampoules (tableau 3), les quatre règles prédisent entre 87% (1<sup>ère</sup> passation) et 82% (2<sup>ème</sup> passation) des réponses observées.

**Tableau 2** — Fréquence des règles décisionnelles pour un raisonnement global électrocinétique (Brillance = brillance relative des ampoules ; Charge = conservation de la charge intra circuit B ; Nœuds = règle des nœuds dans le montage dérivation). n = 45 pour les deux passations t1 et t2

Règle	Brillance	Charge	Nœuds	t1	t2
R1	Inégalité pour au moins 3 situations sur 4	Non conservée pour au moins 3 situations sur 4	Non respect pour S2 et S4	11	12
R2	Égalité pour au moins 3 situations sur 4	Non conservée pour au moins 3 situations sur 4	Non respect pour S2 et S4	4	4
R3	Égalité pour S1 et S2 Inégalité pour S3 et S4	Conservée pour au moins 3 situations sur 4	Respect pour la moitié des situations	7	9
R4	Égalité pour S1, S2 et S4 Inégalité pour S3	Conservée pour au moins 3 situations sur 4	Respect pour la moitié des situations	2	3
Total				24	28

**Tableau 3** — Fréquence des règles décisionnelles pour la brillance relative des ampoules, t1 et t2

t1	Brillance	t2	Brillance
R1	14	R1	14
R2	10	R2	7
R3	12	R3	12
R4	3	R4	4

Total	39/45	Total	37/45
-------	-------	-------	-------

En répartissant (tableau 4), pour chacune des règles appliquées à la notion de brillance, les sujets qui ne conservent pas la charge électrique (NC) et ceux qui la conservent (C), on observe une relation significative entre la notion de conservation de la charge et les règles prévues pour la brillance, tant en première qu’en deuxième passation : les sujets qui raisonnent selon les règles R1 et R2 ne conservent pas la charge électrique (pour au moins trois situations sur quatre présentées) ; à l’inverse, les sujets qui conservent la charge (pour au

moins trois sur quatre situations présentées) sont aussi ceux qui utilisent les règles R3 et R4.

**Tableau 4** — Relation entre la conservation de la charge et les quatre règles de brillance, t1 et t2

t1	NC	C	t2	NC	C
R1 + R2	16	8	R1 + R2	16	5
R3 + R4	5	10	R3 + R4	3	13
X <sub>2</sub> = 4.12 ; dl = 1 ; p < .05			X <sub>2</sub> = 11.9 dl = 1 ; p < .05		

L'hypothèse d'un lien entre les modèles de courant et l'utilisation spécifique d'une règle décisionnelle n'a pu être validée étant donné l'instabilité des modèles de courant entre la 1<sup>ère</sup> et la 2<sup>ème</sup> passation. En revanche on constate une stabilité des 4 règles de brillance entre les passations (Test McNemar = 0.16 ; dl = 1 ; p > .05).

## 6. Discussion

D'un point de vue général, nos observations sur la manière dont l'enfant de 6 ans se représente l'électricité sont comparables à celles des travaux antérieurs : c'est la représentation unifilaire, unipolaire ou bipolaire du courant, fondée sur une structure causale linéaire où la pile est "l'agent" et l'ampoule le "patient". Il n'y a pas de retour de courant prévu à la pile (Tiberghien et Delacôte, 1976 ; Shipstone, 1985 ; Dupin et Johsua, 1988). Cependant, deux éléments s'en distinguent. D'une part, 17 % de nos sujets détiennent le modèle de courant Unidirectionnel, non prévu à cet âge. Shipstone (Shipstone, 1985) n'envisage l'existence d'un tel modèle de courant qu'à partir de 8 ans. Dans leur étude concernant des enfants de 7-13 ans Tiberghien et Delacôte, 1976), Tiberghien et Delacôte n'en parlent pas. Tout en restant minoritaire dans notre échantillon de sujets (sa fréquence diminuant d'une passation à l'autre), ce modèle de courant semble pouvoir se mettre en place dès 6 ans. D'autre part, 62 % de nos sujets modifient leur modèle de courant d'une passation à l'autre. Cette instabilité du modèle de courant entre les deux passations contraste avec la stabilité de l'anticipation à l'action d'allumage selon un mode linéaire et unipolaire. En considérant ces deux notions d'un point de vue représentationnel, on peut émettre l'hypothèse que l'anticipation à l'action d'allumage sous-tend une représentation fonctionnelle de l'électricité, tandis que le modèle de courant structure une représentation finalisée de l'électricité. On sait, par les données observées, que la représentation fonctionnelle constitue la représentation de base du phénomène électrique. Elle est facilement imaginable et récupérable en mémoire du fait qu'elle est "pratiquée" quotidiennement. Par contre, il faut être électricien professionnel ou ingénieur dans le domaine pour expérimenter une représentation finalisée du courant. Cette instabilité du modèle de courant pourrait trouver une explication de par la nature de la représentation qu'il sous-tend.

En l'absence de recherches sur le raisonnement électrocinétique spontané de l'enfant, notre étude s'est inspirée du modèle de Siegler (Siegler, 1981). Nous plaçant dans une perspective développementale, ce transfert analogique de modèle repose essentiellement

sur l'hypothèse suivante : la situation problème d'électrocinétique peut déclencher, lors d'un raisonnement spontané et non pas formel, l'utilisation de règles décisionnelles, qualitatives et quantitatives, définies empiriquement en terme de dimension dominante pour la pile, et sous-dominante pour l'ampoule. La prise en compte de la dimension topologique du circuit (montage en série ou en dérivation des piles et des ampoules) marquerait l'ajout de règles supplémentaires. Elles manifestent une complexification progressive des capacités de traitement, signe d'un développement cognitif, selon l'auteur de ce modèle.

Nos résultats sur le raisonnement spontané électrocinétique de l'enfant de 6 ans infirment l'hypothèse d'un raisonnement global intégrant les trois notions d'électrocinétique. En revanche, ils montrent qu'il existe déjà chez le jeune enfant une difficulté à combiner les notions d'intensité, de courant et de potentiel électrique, difficulté majeure rencontrée dans ce domaine lors de l'enseignement. De plus, si les deux principaux modèles de raisonnements erronés observés chez l'adolescent et l'adulte non expert (séquentiels du 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> degré) ne peuvent se retrouver *stricto sensu* chez l'enfant de 6 ans, il semble toutefois possible de les comparer aux règles R1 et R3, présentées dans notre étude. En effet, le modèle séquentiel du 1<sup>er</sup> degré est décrit comme un raisonnement localiste qui ignore l'effet d'une variation à un point du circuit sur l'ensemble du circuit ; de plus, le courant quittant une résistance est considéré comme différent du courant entrant dans celle-ci (Shipstone, 1985 ; Dupin et Johsua, 1988). Ce modèle serait à rapprocher de la règle R1, fondée sur un critère qualitatif spatial. Le modèle séquentiel de 2<sup>ème</sup> degré, exclusivement basé sur la notion erronée de courant constant délivré par la pile (au lieu de tension constante) exclut par là même toute relation avec les autres grandeurs physiques (Dupin et Johsua, 1988 ; Closset, 1989). Ce modèle de raisonnement erroné serait comparable à la règle R3, centrée sur un critère quantitatif exclusif, le nombre de piles.

## 7. Conclusion

Confrontés aux études menées auprès d'adolescents et d'adultes, nos résultats mettent en évidence l'aspect invariant du développement cognitif dans ce domaine. En effet, dès 6 ans, les conceptions de l'électricité s'élaborent sur une représentation fonctionnelle du phénomène physique, activée spontanément par la réalité du phénomène qui ne se donne à voir qu'à travers ses effets. Cette représentation repose essentiellement sur la notion de fermeture opératoire (et non pas conceptuelle) du circuit électrique. De même, le raisonnement électrocinétique est, dès 6 ans, structuré selon deux types de variables explicatives prégnantes : l'espace-temps et le quantitatif. Celles-ci organisent de véritables états de connaissances, d'autant plus stables et cohérents qu'ils s'appuient sur une causalité simple, proche du pragmatisme, où la cause y précède l'effet. Une question se pose : l'apprentissage scientifique s'oppose-t-il au sens commun ? Les différentes approches du domaine s'accordent sur la nécessité d'une prise de distance progressive par rapport à l'évidence des représentations du monde, innées et/ou acquises, qui structurent le sens commun. Plutôt que de détruire, il s'agit d'harmoniser le caractère d'obstacle

potentiel du sens commun avec le caractère évolutif de l'activité mentale qu'il sous-tend :

“ Si l'on insiste à juste titre sur le caractère potentiel de beaucoup d'idées communes, il faut envisager que certaines puissent constituer un appui dans l'accès à la connaissance ” (Viennot, 1996).

## 8. Perspectives

L'apprentissage scientifique des notions d'électrocinétique doit s'envisager dans une double perspective génétique et didactique. Si la structure opératoire du raisonnement spontané en électrocinétique s'installe dès 6 ans et reste invariante au cours du développement cognitif, tandis qu'évoluent les conceptions spontanées de l'électricité corrélativement avec l'expérience pragmatique du sujet, c'est à l'expression même de ces conceptions, dans la vie quotidienne, qu'il faut s'intéresser. Une des approches consisterait à développer chez l'enfant les idées suivantes : la “ vie ” de l'électricité ne se termine pas à l'ampoule ou au témoin lumineux d'une machine, comme le laisse percevoir la vie domestique : une prise, un fil, une ampoule ou une machine. La pile que l'on jette, tel un produit de consommation courante, n'est pas vide. L'épuisement de la pile n'est pas le résultat d'une consommation d'électricité mais plutôt d'une altération avec le temps de la réaction chimique entre produits contenus dans la pile. Enfin, pour initialiser une distanciation progressive du sens commun chez les sujets plus âgés, on pourrait leur proposer une réflexion sur l'intitulé d'une facture, que l'on reçoit très régulièrement : “ Facture de consommation d'électricité ”. Cette expression figurative est tout à fait impropre car s'il y a bien consommation de quelque chose, c'est d'énergie dont il s'agit et non pas d'électricité. Cependant faire payer pour un objet (électricité) est plus recevable que de faire payer pour un concept (énergie) !

## Références bibliographiques

[Bachelard, 1938] Bachelard G. (1938). La formation de l'esprit scientifique. *Vrin* : Paris.

[Closset, 1988] Closset J.L. (1988). Une possible méthodologie pour la recherche sur le raisonnement naturel en physique. Problématique et Résultats dans le cas de l'électrocinétique. *Technologies, Idéologies, Pratiques*. Vol. VII n°2, 43-58.

[Closset, 1989] Closset J.L. (1989). Les obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique. *Bulletin de l'Union des physiciens*. 716, 931-950.

[Crépault, 1993] Crépault J. (1993). Quelques aspects du développement cognitif : Concepts, modèles et méthodes. *Université de PARIS VIII* : Paris.

[Dupin et Johsua, 1988] Dupin J.J., Johsua S. (1988). “ Conceptions en électrocinétique ”. Permanences géographiques et évolution dans le temps. *Technologies, Idéologies, Pratiques*. Vol. VII n°2, 23-41.

[Johsua et Dupin, 1993] Johsua S., Dupin J.J. (1993). Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques. *PUF* : Paris.

[Koumaras et al., 1997] Koumaras P., Kariotoglou P., Psillos D. (1997). Causal structures and counter-intuitive experiments. In *Electricity*. *International Journal of Science Education*. 19, 617-630.

[Shipstone, 1985] Shipstone D.M. (1985). Electricity in Simple Circuits. In Driver R., Guesne E., Tiberghien A. (eds.) *Children's Ideas in Science*. *Open University Press* : Buckingham. 33-51.

[Shipstone et al., 1988] Shipstone D.M., Rhöneck C., von Kärrqvist C., Dupin J.J., Johsua S., Licht P. (1988). A study of students' understanding of electricity in five European countries. *European Journal of Science Education*, 10, n°3, 303-316.

[Siegler, 1981] Siegler R.S. (1981). Developmental sequences within and between concepts. *Monograph of the Society for Research in Child Development*. 46, 1-74.

[Tiberghien et Delacôte, 1976] Tiberghien A., Delacôte G. (1976). Manipulations et représentations de circuits électriques simples par des enfants de 7 à 13 ans. *Revue Française de Pédagogie*. 34, 32-44.

[Viennot, 1996] Viennot L. (1996). Raisonner en physique. La part de sens commun. *De Boeck Université* : Bruxelles / Paris.