

## DIODES, PRINCESSES ET TIGRES : UNE ÉTUDE DE CAS MONTRANT COMMENT MODIFIER SES PRATIQUES PÉDAGOGIQUES À LA LUEUR D'OUTILS THÉORIQUES

### Introduction

Nous présentons ici en tant que praticiens un travail d'analyse pédagogique relatif à un chapitre particulier (portant sur la diode mais transposable à d'autres contenus) d'un cours d'électronique de base suivi par les étudiants de troisième année du cursus d'ingénieur civil (Ecole Polytechnique).

Nous relatons comment plusieurs outils relativement faciles d'accès (les taxonomies de Gagné et de Bloom, la notion de transfert ainsi que des considérations relatives à la motivation) nous ont permis d'analyser puis de modifier nos objectifs et stratégies pédagogiques.

### Quelques notions relatives au contenu enseigné

L'analyse pédagogique relatée ici est au départ centrée sur un contenu bien précis: la diode, un des composants de base de l'électronique. Nous résumons ci-dessous les éléments et le contexte que le lecteur doit connaître à propos de ce composant pour comprendre l'analyse qui va suivre:

- Un circuit électrique ou électronique est constitué de l'assemblage de composants de divers types qu'on peut regrouper en composants "électriques" (résistances, condensateurs, inductances, sources) et en composants "électroniques" (diodes, transistors, etc).
- Les différents types de composants électriques se distinguent notamment les uns des autres par leur propriétés électriques, traduites en une loi de comportement liant le courant qui traverse le composant ( $I$ ) et la différence de potentiel existant aux bornes de ce même composant ( $V$ ). A titre d'exemple, la résistance répond à la loi d'Ohm  $V=RI$ .
- La diode est très souvent le premier composant vu dans le cadre d'un cours d'électronique<sup>2</sup>, l'étudiant ayant été familiarisé aux composants électriques dans des cours précédents.
- Au contraire des composants électriques, la diode possède *deux* états mutuellement exclusifs<sup>3</sup>: elle est soit "passante" soit "bloquante". A chacun de ces états correspond une loi spécifique ( $V=V_{TH}$  lorsque la diode est passante et  $I=0$  lorsque la diode est bloquante). Il en résulte que la procédure de résolution d'un circuit apprise pour les composants électriques (résoudre un système d'équations constitué des lois de comportement de chaque composant ainsi que des lois des noeuds et des mailles décrivant le circuit) *n'est pas pertinente* lorsqu'une diode est présente dans le circuit. On tombe en

---

<sup>1</sup> Université Libre de Bruxelles, Service d'Electronique/Microélectronique (MiEL), CP165/56, av. Roosevelt 50 ; B1050 Bruxelles (Belgique) – Tél: +3226503060 – Fax: +3226502482 – Email: {frrobert, cboey}@ulb.ac.be

<sup>2</sup> Voir par exemple [Floyd2000] qui constitue un exemple typique de ce qu'on peut trouver dans la littérature

<sup>3</sup> Si la diode ne peut être réduite à une telle vision, un modèle de diode "à deux états" suffit pour expliquer la plupart des schémas de base utilisant ce composant. Il est donc pertinent dans un premier cours d'électronique.

effet alors dans un "cercle vicieux": pour écrire le système d'équations, il faut connaître l'état de la diode mais celui-ci dépend précisément du résultat du système d'équations.

- Pour résoudre un circuit contenant des diodes, il faut au contraire mettre en oeuvre un "raisonnement par hypothèse" consistant dans une première étape à faire une hypothèse sur l'état de la diode (passante ou bloquante), dans une deuxième étape à raisonner comme si cette hypothèse était correcte, et dans une troisième étape à vérifier si le résultat obtenu est admissible (compatible avec le reste du problème) ou au contraire s'il doit être rejeté au profit d'une autre hypothèse.

### Utilisation des taxonomies de Gagné et de Bloom

Une taxonomie est un classement hiérarchisé d'objets. Lorsqu'on parle de taxonomie d'objectifs pédagogiques, on parle donc simplement de classer les objectifs d'un cours ou d'un cursus en un certain nombre de catégories. Il existe de très nombreuses taxonomies à cet usage: celle que nous utilisons ici est fondamentalement celle de Gagné telle que citée dans [Rieunier2000]. Nous renvoyons aussi à la taxonomie de Bloom dans sa version mise à jour [Anderson2001], qui reprend sur un de ses axes une classification très proche.

En nous limitant à ce qui est pertinent pour cet article, on peut dire que ces deux taxonomies (Gagné et Bloom) distinguent notamment les types de contenus enseignés suivants:

- les *faits* sont constitués "d'information brute" (qu'on demande généralement simplement à l'étudiant de mémoriser)
- les *concepts* consistent fondamentalement à distinguer des catégories d'objets ("fait", "concept", "principe", "procédure" et "stratégie" sont donc... des concepts, tout comme "diode", "résistance", "condensateur", etc). De manière simplifiée, toute notion introduite via une *définition* renvoie à un concept.
- un *principe* est la mise en relation de différents concepts (ex: la loi d'Ohm)
- une *procédure* est une suite d'actions à effectuer dans un ordre déterminé et conduisant systématiquement à la solution d'un problème-type (ex: méthode de tri d'une liste de dix nombres)
- enfin une *stratégie (cognitive)* est une méthode personnelle de traitement de l'information mise en oeuvre pour résoudre un problème (celui-ci étant supposé significativement plus complexe que les problèmes-types pour lesquels des procédures sont déjà connues).

Par rapport à ces cinq niveaux, la hiérarchie apparaît notamment dans le fait que les opérations mentales typiques<sup>4</sup> menées par l'étudiant se compliquent au fur et à mesure qu'on monte dans les niveaux de la taxonomie. Or on attend en général des étudiants qu'ils maîtrisent les opérations cognitives de plus haut niveau (résolution de problème), notamment dans ce cas-ci la résolution d'un circuit comportant éventuellement des diodes.

Si l'on analyse un cours d'électronique de base typique à la lumière de cette classification, on se rend compte que les contenus enseignés relèvent majoritairement des niveaux "faits", "concepts" et "principes", à l'exclusion quasiment totale des niveaux procédure et stratégie. La plupart des cours d'électronique débutent en effet par une "introduction à la théorie des semiconducteurs"<sup>5</sup> sur laquelle s'appuie un chapitre "diodes" expliquant avant tout *comment* une diode est constituée. Ce n'est qu'ensuite que le comportement externe de la diode (lois de comportement) est abordé.

---

<sup>4</sup> même si on peut, pour chaque niveau, envisager d'autres opérations cognitives: voir [Anderson2001].

<sup>5</sup> Le semiconducteur (silicium) est le matériau de base constituant la diode.

Une telle progression nous semble un exemple flagrant d'héritage de l'approche behavioriste consistant en une construction "ascendante" des savoirs [Raynal1997]: une diode étant constituée en matériau semiconducteur, il faut –selon l'approche behavioriste– expliquer les semiconducteurs avant les diodes. Dans le même ordre d'idées, la diode est le premier composant présenté dans la majorité des cours d'électronique parce que sa *structure interne* est la plus simple, alors que son comportement externe est en fait assez complexe à appréhender.

Dans ce cas-ci cette option nous paraît malheureuse puisque la plupart des étudiants analyseront bien plus souvent un problème d'électronique au niveau de l'assemblage des composants (comportements) plutôt qu'au niveau de leur constitution (semiconducteurs), ce qui demande précisément dans le cas des diodes d'avoir compris le fait qu'un circuit doit se résoudre en utilisant un raisonnement par hypothèse au lieu de la procédure classique de résolution des circuits électriques.

Une analyse basée sur les taxonomies d'objectifs pédagogiques citées (ainsi que sur les différents éléments théoriques évoqués en introduction) amène donc à la conclusion qu'il existe un savoir de niveau procédural (raisonnement par hypothèse) passé sous silence dans la plupart des cours d'électronique en raison d'une approche fondamentalement behavioriste de la matière.

#### Utilisation de la notion de transfert: découplage des niveaux d'objectifs

Ayant mis en évidence le fait qu'il y a une connaissance procédurale à enseigner à propos des diodes, la question suivante consiste à se demander: comment l'enseigner efficacement?

Le premier réflexe consiste à imaginer d'enseigner cette procédure en parlant de diodes. Cette approche, pour évidente qu'elle puisse paraître, possède néanmoins un inconvénient important de nature selon nous à freiner la compréhension des étudiants: elle consiste à introduire une connaissance nouvelle (la procédure) en utilisant un vocabulaire qui vient lui-même d'être introduit (les faits, concepts et principes relatifs à la diode). L'analyse découlant des taxonomies nous permet au contraire d'imaginer de "découpler" deux niveaux de connaissance: le niveau procédural d'une part (le raisonnement par hypothèse) et les niveaux inférieurs d'autre part.

Concrètement, nous proposons d'exposer la procédure en utilisant un support autre que la diode, dans notre cas un "conte de fées" mettant en scène divers personnages (voir ci-dessous). On réalise donc ici en quelque sorte un transfert (au sens pédagogique du terme) puisqu'on généralise une procédure pour l'appliquer à un problème qui en apparence est différent [Rieunier2000].

Un tel découplage de la procédure et de son support est possible ici car la procédure concerne en fait un problème-type de pure logique (sortir d'un cercle vicieux au moyen d'un raisonnement par hypothèse), beaucoup plus large que le cadre de l'électronique. Nous faisons l'hypothèse qu'il est avantageux car il apparaît encore, dans le contexte qui est le nôtre, que cette procédure en tant que telle est connue et bien maîtrisée (au moins implicitement) de la part des étudiants lorsqu'elle s'applique à des objets qui leur sont familiers. Le principal message pédagogique que nous devons faire passer n'est donc pas la procédure en elle-même mais plutôt le fait qu'elle s'applique aussi aux diodes.

#### Transfert du raisonnement par hypothèse sous la forme d'un "conte de fées"

Sur base de l'analyse précédente, nous avons recherché un problème de logique qui, tout en utilisant des éléments familiers des étudiants, demande pour être résolu la mise en oeuvre d'un raisonnement par hypothèse. Voici un tel problème, initialement extrait de [Smullyan1999] mais réduit ici à ses éléments fondamentaux (de nombreuses variantes sont possibles):

- un prisonnier est amené face à deux cellules
- chaque cellule contient soit une princesse soit un tigre

- le prisonnier doit ouvrir une cellule: il est dévoré si la cellule contient un tigre mais il recouvre la liberté si la cellule contient une princesse
- sur la porte de chaque cellule se trouve une affiche: l'affiche de la première cellule porte le message "une cellule au moins contient une princesse" tandis que l'affiche de la seconde cellule porte le message "il y a un tigre dans l'autre cellule"
- les affiches sont soit toutes les deux vraies soit toutes les deux fausses

Sur base de ces éléments, le prisonnier ne peut déduire par une simple suite d'implications qu'une cellule contient une princesse. Il peut par contre faire par exemple le raisonnement suivant, qui contient effectivement comme point de départ une hypothèse :

- si l'on suppose que les deux affiches sont vraies:
  - la première affiche est vraie donc il y a au moins une princesse dans une des cellules
  - la seconde affiche est vraie donc la première cellule contient un tigre
  - en combinant ces informations, on déduit que la seconde cellule contient une princesse

Cette dernière conclusion apparaît en accord avec toutes les données du problème. Conformément au principe du raisonnement par hypothèse, elle doit donc être considérée comme solution correcte.

Le prisonnier aurait pu au contraire utiliser une supposition initiale opposée:

- si l'on suppose que les deux affiches sont fausses:
  - la première affiche est fausse: compte tenu des autres données du problème, la négation logique de cette proposition est: "aucune des cellules ne contient une princesse" (ou encore, ce qui est équivalent: "les deux cellules contiennent chacune un tigre")
  - la seconde affiche est fausse: compte tenu des autres données du problème, la seule négation logique possible de cette seconde affiche est: "il y a une princesse dans la première cellule"

Les deux dernières déductions ci-dessus sont incompatibles, de sorte que le prisonnier doit conclure que l'hypothèse "les deux affiches sont fausses" était incorrecte, ce qui nous ramène bien à la première solution déjà trouvée.

De nombreux autres supports peuvent être envisagés pour expliquer le raisonnement par hypothèse. Celui du conte de fées nous semble combiner plusieurs avantages :

- les "objets" mis en oeuvre sont totalement familiers de l'étudiant
- l'irruption de personnages de contes de fées dans un cours d'électronique constitue une rupture importante par rapport à ce que les étudiants attendent, rupture qui a tendance en elle-même à favoriser l'attention, la motivation et la rétention à long terme [Rieunier2000]
- nous faisons l'hypothèse supplémentaire que le conte de fées renvoie majoritairement, même pour des étudiants d'une vingtaine d'années, à un vécu heureux qui dispose les étudiants encore plus favorablement en termes d'écoute
- le problème posé au prisonnier constitue un défi que les étudiants ont envie de relever (ce qui n'est pas du tout le cas pour un problème équivalent de circuit à diodes).

### Mise en oeuvre et résultats

En pratique, l'enseignant introduit l'histoire de façon abrupte (sans indiquer quel en est le but) et avec une certaine mise en scène (ambiance sombre, histoire racontée sur le ton d'un conte de fées, affiches dessinées au tableau, etc.). Il est alors demandé aux étudiants de résoudre le problème et il est très facile à l'enseignant de mettre en évidence le "si" qui apparaît très rapidement dans la bouche même des étudiants et qui résume à lui seul tout le raisonnement par hypothèse.

Ayant résolu avec les étudiants le problème dans sa version "conte de fées", l'enseignant n'a plus alors qu'à faire le parallèle avec la résolution d'un circuit à diodes pour montrer que les deux types de problèmes utilisent exactement la même démarche de résolution: le raisonnement par hypothèse.

Le problème tel qu'exposé ci-dessus a effectivement été posé deux années de suite dans un cours comptant plus d'une centaine d'étudiants ingénieurs. L'intérêt des étudiants était très perceptible dès le début du "conte de fées" (silence spontané dans l'auditoire, nombreuses réponses, etc.).

La première année, l'examen qui a suivi deux mois plus tard a donné, à la question consistant à résoudre un circuit à diodes, une moyenne de 76% (alors qu'une question similaire<sup>6</sup> avait donné l'année précédente une moyenne de 61%). Sans qu'aucune référence ait été faite au conte de fées, des étudiants ont été entendus à la sortie de cet examen parlant de princesses et de tigres, ce qui est de nature à confirmer le rôle de moyen mnémotechnique joué par le conte de fées.

La seconde année, il a été demandé aux étudiants lors de l'examen écrit d'indiquer si le parallèle établi avec un conte de fées leur avait permis de mieux comprendre comment résoudre un circuit à diodes : 11% ont répondu "plutôt non" ou "pas du tout", 49% ont répondu "plutôt oui" ou "tout à fait" et 40% ont préféré ne pas se prononcer.

### Généralisation et perspectives

Au-delà du contexte particulier relaté dans cet article, certains éléments exposés nous semblent pouvoir être réutilisés dans d'autres situations:

- le conte de fées lui-même dans tout problème demandant un raisonnement par hypothèse
- le principe consistant à découpler un contenu procédural des contenus de niveaux inférieurs et à réaliser un transfert de la procédure sur un support plus familier des étudiants
- le principe consistant à favoriser la motivation et la rétention à long terme en utilisant un support familier mais inattendu dans le cadre d'un cours.

Sans l'avoir encore tenté en pratique, nous pensons par ailleurs qu'il serait avantageux de dévoiler *explicitement* aux étudiants le procédé utilisé par l'enseignant (et exposé dans cet article) pour leur faire assimiler le principe de résolution d'un circuit à diodes. Une telle démarche consisterait en effet à donner aux étudiants des moyens supplémentaires de gérer leur propre savoir (par exemple pour transférer à d'autres situations le raisonnement par hypothèse). Elle constituerait un exemple concret d'enseignement de niveau métacognitif, le niveau le plus élevé dans la taxonomie de Bloom révisée [Anderson2001].

---

<sup>6</sup> Les conditions étaient néanmoins légèrement différentes la première année: le circuit était un peu plus complexe (deux sources au lieu d'une) et l'examen avait lieu en seconde session.

## Bibliographie

- Anderson, Lorin W. and Krathwohl David. R. *A taxonomy for learning, teaching and assessing: a revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. abridged edition ed. Addison Wesley Longman; 2001.
- Floyd, Thomas L. *Electronique: composants et systèmes d'application*. 5e édition ed. Repentigny: Editions Reynald Goulet; 2000.
- Raynal, Françoise and Rieunier, Alain. *Pédagogie: dictionnaire des concepts clés - apprentissage, formation, psychologie cognitive*. Paris: ESF Editeur; 1997.
- Rieunier, Alain. *Préparer un cours - 1: Applications pratiques*. Paris: ESF Editeur; 2000.
- Smullyan, Raymond. *Le livre qui rend fou*. Paris: Dunod; 1999.