

DU « LOGICO-MATHÉMATIQUE » AUX DYSCALCULIES

Dyscalculie

Dr Michèle Mazeau

Résumé

Il y a cent ans, J. Piaget montrait l'existence d'un lien fort entre opérations logiques (opérations mentales de classification, sérialion, inclusion) et accès au nombre et aux calculs. Dans les années 1960-1980, les neurosciences mettent en évidence le support neuronal de la représentation analogique du nombre (le sens du nombre) et ses liens avec les aptitudes mathématiques en contexte scolaire. Simultanément, la neuropsychologie clinique insiste sur l'implication de nombreuses fonctions cognitives dans la construction des différentes facettes symboliques du nombre (verbale et indo-arabe). Les déficits ou anomalies développementales dans ce secteur des apprentissages ne peuvent donc plus être seulement comprises comme des « troubles logico-mathématiques » : c'est le développement de chacun des systèmes et sous-systèmes concerné par cette logique construction qui doit être interrogé. Cette élucidation est indispensable pour faire aux enfants des propositions adaptées et différenciées selon les mécanismes qui sous-tendent les symptômes observables.

Mots-clés : rééducation en mathématique, dyscalculie, troubles spécifiques des apprentissages.

Dr Michèle MAZEAU
Médecin de rééducation,
spécialisée en neuropsychologie infantile.
Courriel : mazeau.michèle@free.fr
Site : www.wix.com/mazeau.michèle.com

From logical/mathematical disorders to dyscalculia

Abstract

One hundred years ago, J. Piaget revealed the existence of a strong link between logical operations (mental operations of classification, seriation, inclusion) and proper handling of numbers and calculations. In the years 1960-1980, neurosciences highlighted the neuronal contribution to the analogical representation of the number (« meaning of numbers ») and its connections with the mathematical capabilities in the learning environment. Simultaneously, clinical neuropsychology highlights the involvement of a combination of several cognitive functions in the construction of the symbolic aspects of the number (verbal and indo-Arabic). Deficits or developmental disorders in this area of learning can no longer be understood as just "logical/mathematical disorders": it is the development of each of the systems and subsystems involved into this long-lasting construction which must be questioned. This clarification is essential to propose adapted and differentiated accommodations to each child in accordance with the mechanisms underlying the observable symptoms.

Keywords : remediation in mathematics, dyscalculia, specific learning disabilities.

◆ Introduction

Le « logico-mathématique » tel qu'il avait été compris et pratiqué (sous la forme de réductions d'inspiration piagétienne) depuis près d'un siècle a désormais laissé place à la *cognition numérique* (ou mathématique) et aux *dyscalculies*.

Or il ne s'agit pas uniquement d'un glissement lexical ni de nouveaux vocables habillant d'anciennes notions. Il s'agit au contraire d'une profonde révolution dans la conception du développement de la notion de nombre chez l'enfant (Fayol, 2012) et de ses avatars que sont les divers troubles et difficultés observés dans ce domaine (Mazeau et Pouhet, 2014, chap 7).

Ceci a d'**importantes** répercussions pratiques, d'une part dans l'*évaluation des difficultés* de l'enfant et d'autre part dans *les remédiations* qui devraient être proposées.

◆ Le développement du nombre : quoi de neuf ?

A partir des années 1960, deux **évolutions majeures** se font jour dans le **domaine du développement** de la **cognition** chez l'enfant, qui vont profondément modifier notre compréhension des pathologies développementales chez l'enfant.

D'une part, nous avons dû **revoir** toutes nos conceptions antérieures sur le **corveau du bébé**, d'où l'avènement des dys. D'autre part, et plus précisément dans le **domaine numérique**, a été mise en évidence chez le bébé une petite « **boîte à outils** » innée et spécialisée sous-tendant le « sens du nombre ».

Un cerveau modulaire¹ d'emblée

A partir des années 1960-80, les progrès des nouvelles technologies et de l'informatique ont permis la mise au point de nouveaux paradigmes pour poser des questions aux nouveau-nés et aux bébés. La succion non nutritive et le regard préferentiel² sont des méthodes non invasives qui ont donné accès à l'éventail de ce que l'on a appelé *les compétences précoces* du nourrisson. On découvre alors la richesse et la variété de ces compétences, innées ou quasi-innées (Lecuyer, 2004). On réalise que le cerveau du bébé est loin d'être cette ardoise vierge que l'on imaginait. Le bébé n'est pas cette *tabula rasa* sur laquelle s'inscriraient les premières expériences sensori-motrices, entièrement et totalement dépendant de son environnement (physique et affectif). Son cerveau, dès la conception, est le fruit d'une organisation rigoureuse – génétiquement déterminée – qui dessine déjà les prémices de réseaux spécialisés dédiés à telle ou telle fonction sensori-motrice ou cognitive. On n'apprend pas à partir de rien.

Souvent comparées à des « boîtes à outils » spécialisées pour analyser les différents aspects de son environnement et optimiser ses inter-relations avec le milieu, ces premières compétences vont évoluer sous les effets conjugués de la maturation, des échanges avec l'environnement et des expériences qu'il réalise (sensorimotrices, cognitives, émotionnelles). Le développement va consister en :

- l'élagage de certains neurones et certaines connexions neuronales (d'où moins de potentialités mais plus de performances ciblées, permettant une meilleure adaptation au milieu),
- la multiplication d'autres connexions et/ou l'amélioration de la vitesse et de l'efficacité de ces connexions.

Ces réorganisations neuronales, que la plasticité cérébrale rend possible, reconfigurent les réseaux de neurones qui deviennent de plus en plus complexes et efficaces, de plus en plus spécialisés mais aussi de plus en plus massivement interconnectés. Inné et acquis sont ainsi indissolublement liés dans une spirale sans fin (Figure n° 1).

¹ Dire que le fonctionnement cérébral est modulaire signifie que l'organisation cérébrale permet d'isoler des systèmes et sous-systèmes spécifiques, dédiés à telle ou telle fonction ou sous-fonction cognitive particulière : ces modules fonctionnels sont supportés par des réseaux de neurones, dynamiques et massivement interconnectés. Ces paradigmes utilisent l'intérêt inné du bébé pour la nouveauté (paradigme habitude/nouveauté) : le bébé s'attache plus ou regarde plus ce qui, pour lui, est nouveau, surprenant, impossible ou inattendu (paradigme de la violation des attentes).

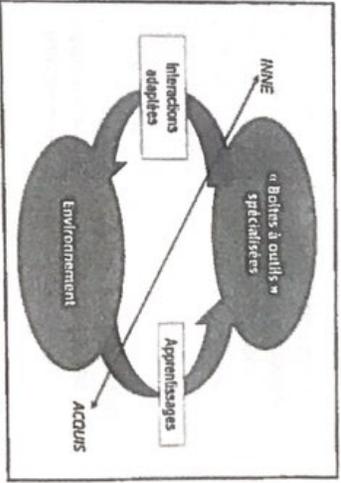


Figure 1 : Les liens circulaires entre l'équipement cérébral de base du bébé et les interactions avec l'environnement

Avant ces découvertes, le développement cognitif de l'enfant ne dépendait (croyait-on) que de son environnement. Tout retard d'évolution ou toute anomalie ne pouvait alors relever que de deux causes : une anomalie cérébrale patente (déterminant une déficience mentale) et/ou un environnement pathogène. A partir des découvertes des années 80, le développement cognitif devient clairement tributaire de trois données, certes interdépendantes, mais isolables³ en cas de panne, de dysfonctionnement, de pathologie : i) - l'intégrité des « boîtes à outils » initiales dont dispose l'enfant, ii) - la richesse et l'adéquation de ses échanges avec l'environnement, et iii) - sa capacité à reconfigurer de nouveaux réseaux de neurones au fil des apprentissages.

On a alors pu concevoir la possibilité de dysfonctionnements électifs, concernant uniquement telle ou telle « boîte à outils » et/ou une anomalie « locale » de reconfiguration neuronale, ne concernant qu'un des systèmes, ou sous-système cognitif spécialisé dans telle ou telle fonction. D'où le terme de *trouble spécifique*.

Une « boîte à outils » numérique d'emblée

Dans le même temps, dès 1978, Gelman et Gallistel avaient montré que les bébés avaient accès à de petites numérosités (1 à 3 éléments), indépendamment de leur modalité de présentation (visuelle, auditive). Ils pouvaient même effectuer un transfert entre différentes modalités sensorielles, par exemple associer 2 points à une suite de 2 sons, ou 3 points à une suite de 3 sons. Une étude de Wynn en 1992 va relancer les recherches sur les capacités numériques du bébé. Elle montre que, si l'on dépose ostensiblement l'objet, puis encore un autre, derrière un écran, les bébés de 4 mois s'attendent bien à voir apparaître ensuite 2 objets lorsqu'on

³ C'est l'objectif du bilan neuropsychologique que d'isoler le ou les processus défaillant(s), de remonter du syndrome jusqu'au dysfonctionnement cognitif spécifique, qui le génère.

relève l'écran. S'il n'y en a qu'1, ou 3, ils manifestent clairement leur surprise (regard préférentiel, violation des attentes, cf. note n° 3). De même les bébés « connaissent » le résultat de 2+1 ou de 3-1 ou de 3-2. Ces résultats ont été maintes fois reproduits et confirmés, les aspects purement visuels et visuo-spatiaux de la tâche ayant fait l'objet de nombreux contrôles (disposition spatiale et orientation des éléments, nature des éléments de la collection, densité des éléments...), seul le nombre d'objets est pris en compte par ces bébés.

De fait, l'imagerie fonctionnelle va révéler, dans les replis des lobes pariétaux, l'existence d'une petite « boîte à outils » numérique innée, génétiquement déterminée (Figure n° 2), sur laquelle repose la représentation *analogique* du nombre.

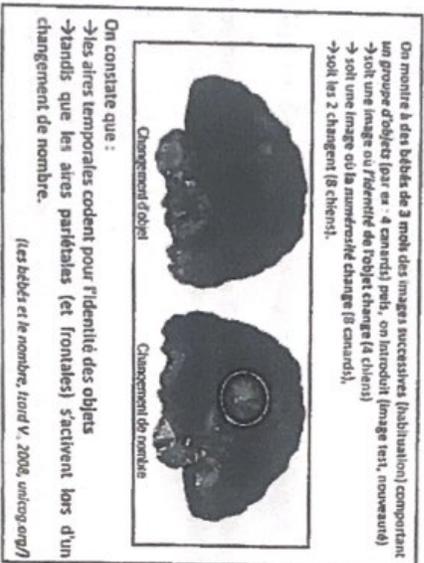


Figure 2 : Une « boîte à outils » numérique d'embolie

- Outre les petits calculs déjà cités, ces réseaux pré-programmés supportent :
- d'une part le subitizing, c'est-à-dire la perception immédiate, en seul coup d'œil (sans dénombrement), de la numérosité exacte de très petites quantités (1 à 3 éléments), capacité dont on connaît mal l'influence sur le développement ultérieur des notions mathématiques ;
 - et l'estimation (évaluation *approximative* de la numérosité) de collections et leur comparaison.

Ils sont le support de la représentation analogique des quantités⁴, socle du « sens du nombre ».

⁴ Les représentations sont dites analogiques lorsqu'elles consistent en appariement entre quantité/nombre et leurs représentations/illustrations concrètes et figuratives (doigts, jetons, bâchettes, boules, bonbons, dessins, ...).

Ces capacités initiales évoluent avec l'âge, les expériences que fait l'enfant, l'acquisition du langage, puis elles vont se développer avec les apprentissages scolaires. Elles prendront, chez l'enfant d'âge scolaire et l'adulte, la forme d'une *ligne numérique mentale, virtuelle, de plus en plus longue* et de plus en plus précise, orientée dans l'espace : le sujet porte les petits nombres sur la gauche et les grands nombres sur la droite⁵.

Tous les apprentissages autour de la numérosité – ceux qui existent chez le tout-petit (approximatifs et analogiques), puis ceux qui sont enseignés en famille et ensuite à l'école (apprentissages symboliques, verbal et indo-arabe⁶) – doivent se coordonner pour prendre sens (Figure n° 3).



Figure 3 : Les liens entre les différentes représentations du nombre

Au fil des ans (et de la scolarité), des liens étroits doivent se tisser entre les trois systèmes de représentation du nombre (analogique, verbal et indo-arabe), ainsi que développé par Dehaene en 1992 sous le nom de « modèle du triple code » (Dehaene 1992 ; Dehaene et Cohen 1995 ; Dehaene et al, 2003).

Et bien sûr, comme tous les systèmes cérébraux, celui dédié d'embolie au nombre – à sa représentation analogique – peut être plus ou moins déficient, plus ou moins en panne, plus ou moins dysfonctionnant ou atypique, se dévoilant alors au décours de la scolarité par « le trouble du sens du nombre », une sorte de dyscalculie que nous avons jusqu'alors méconnue.

⁵ Du moins dans les cultures où la lecture se fait de gauche à droite (influence culturelle)

⁶ La numération indo-arabe, elle aussi « de position », repose sur le fait que la signification de chaque chiffre au sein d'un nombre dépend de sa position relative au sein du nombre ce qui permet à partir, de 10 symboles-chiffres, de composer l'infinité des nombres en « jouant » sur l'empilement relatif des chiffres. Les fonctions visuo-spatiales sont donc au cœur de la compréhension de ce système (Aizawa et al, 2016, chap. 4 & 7). En outre, les fonctions de raisonnement (opérations logiques, intelligence générale) sont très sollicitées par les regroupements réalisés par 10 (base 10) : dizaines, centaines, milliers, millions, etc.

Au total

L'avènement des dys – issu des progrès des neurosciences – a remis en cause nos savoirs antérieurs, nos certitudes et l'ensemble de notre appréhension des troubles des apprentissages chez l'enfant. Les troubles de l'accès à la notion de nombre et au calcul n'ont pas échappé à cette révision. Il ne s'agit pas de faire « nouveau » ou « mode » comme on l'entend dire quelquefois ! Il s'agit d'intégrer les nouvelles connaissances aux anciennes, au bénéfice des jeunes en difficulté dont on nous confie la responsabilité. Nous leur devons en effet les soins les mieux adaptés à un moment donné de l'évolution de la médecine et de la science.

Cela ne signifie bien évidemment pas qu'il faille rejeter les connaissances antérieures. Mais les concepts du siècle dernier (en particulier les travaux de Jean Piaget sur la genèse du nombre chez l'enfant) doivent être ré-interprétés à la lumière des savoirs plus récents et intégrés dans les nouveaux paradigmes. C'est ainsi qu'ils participent à la réflexion présente et conservent une part de leur modernité.

◆ **La réinterprétation des opérations logiques selon Piaget**

Jean Piaget a montré que les opérations logiques (catégorisation, sériation, inclusion) constituent le socle sur lequel repose la longue construction de la notion de nombre.

catégorisation
Catégorisation - Inclusion

Ce sont des opérations mentales fondatrices, sans lesquelles le nombre ne peut avoir de sens. Il s'agit, pour la catégorisation, de « mettre ensemble ce qui va ensemble » selon divers critères (de plus en plus abstraits) qui évoluent avec l'âge et les capacités du sujet. Or, c'est justement cette même capacité qui est au cœur des épreuves d'intelligence générale (dites épreuves « de facteur g »), telles les similitudes ou l'identification de concept (au sein des échelles de Wechsler), les épreuves de classification et d'analyse catégorielle des EDEI-R, l'épreuve de la catégorisation de la NEPSY2, etc.

C'est dire que raisonnablement logique, capacité à se détacher des aspects perceptifs et accès à un certain niveau d'abstraction – toutes capacités nécessaires pour se construire des représentations catégorielles – sont à la fois le cœur des « opérations logiques » définies par J. Piaget comme supportant la construction du nombre et le cœur des opérations mentales qui caractérisent le niveau « d'intelligence générale » de l'enfant. Autrement dit : un certain niveau de catégorisation (d'intelligence générale) est indispensable pour accéder à la notion de nombre, en permettre sa construction progressive.

C'est pourquoi, si l'intelligence générale n'est pas au niveau attendu pour l'âge et le niveau scolaire, le nombre et le calcul sont les premiers impactés car ils sont

les plus exigeants en opérations logiques⁷, en catégorisation, en capacité de regrouper des éléments en ensembles distincts (catégorisation/classification) ou emboîtés (inclusion). Il s'agit donc d'une déficience intellectuelle, le plus souvent légère⁸, mais patente : les anomalies constatées dans la construction et l'utilisation du nombre ne sont donc pas la marque d'un trouble spécifique mais bien la répercussion de la déficience intellectuelle dans les apprentissages des différentes facettes du nombre et de son utilisation.

La sériation

Il s'agit d'être conscient que les nombres entrent en relation entre eux une relation d'ordre, chacun étant relié au suivant par l'opération +1. La suite des mots-nombres – contrairement à l'ordre alphabétique ou celui des jours de la semaine qui est arbitraire – est contrainte par une relation mathématique stricte (« un de plus »).

Brissiaud (2010) insiste beaucoup sur une stratégie de comptage/dénombrément qui pourrait empêcher, chez certains enfants, l'accession à ce concept et qu'il appelle « la numérotation » : l'enfant peut croire (à tort) que l'item qu'il désigne du doigt en disant « 3 » (Figure 4) est « le numéro 3 » tout comme Zidane est « le numéro 10 ». Or, un numéro fonctionne comme une étiquette, il n'entretient aucun rapport mathématique avec son prédécesseur ni son successeur, il ne représente aucune quantité (Zidane n'est pas « 10 quelques choses », ni 1 quelque chose de plus ou de moins que le joueur n° 9 ou n° 11). Au contraire, lorsque l'enfant compte et énonce la suite verbale des mots-nombres et qu'il dit « 3 », c'est que la collection compte déjà 2 objets et qu'il en ajoute 1, obtenant ainsi une nouvelle collection de « 3 » (Figure 5).

Ainsi la sériation des nombres doit être enseignée comme un principe mathématique et expérimenté lors du comptage/dénombrément par l'explicitation du fait (par exemple) que « 3, c'est deux et encore 1 ; 4, c'est 3 et un de plus ».

⁷ Beaucoup plus que l'accès à la lecture, par exemple, qui réclame initialement essentiellement des capacités en métaphonologie et en mémoire de travail.

⁸ Lorsque la déficience intellectuelle est importante, elle est généralement diagnostiquée (et prise en charge) bien avant que ne se dévoile à l'école un déficit dans l'apprentissage du nombre et du calcul.

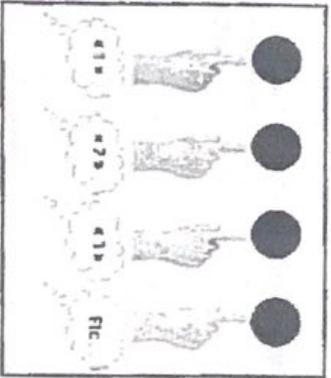


Figure 4 : risque de « numération »

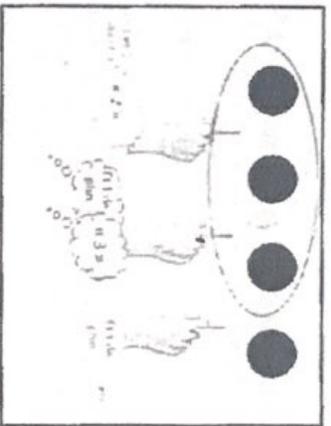


Figure 5 : comptage dénombrement

In fine, les « **troubles logico-mathématiques** » – qui se traduisent par un retard dans l'acquisition des opérations logiques – se manifestent cliniquement par des **difficultés d'accès à la notion de nombre** (en fonction de l'âge et du niveau scolaire de l'enfant) mais sont en réalité un des premiers symptômes scolaires d'une **déficience intellectuelle légère** et/ou (s'il s'agit uniquement d'un non-accès à la **séparation**) la **résultante d'une erreur pédagogique**. Dans l'un et/ou l'autre de ces cas, il s'agit de circonstances qui éliminent le diagnostic de **trouble spécifique** dans le domaine numérique.

Au total

- J. Piaget avait bien évidemment raison : ces **fonctions logiques** (en particulier la **catégorisation**) **sont le terreau indispensable** au développement du nombre chez l'enfant. Mais, si leur insuffisance est bien responsable, au premier chef, de troubles et retards dans l'acquisition du nombre, c'est parce qu'elle signe de fait une **déficience intellectuelle légère**. Il n'y a donc pas de légitimité à évoquer « les troubles logico-mathématiques » comme étant un trouble concernant **de façon particulière ou élective** la construction du nombre chez l'enfant.

- A contrario, si ces fonctions logiques sont nécessaires à la **construction du nombre**, elles ne sont pas suffisantes : de nombreuses autres **fonctions cognitives** interviennent pour **construire, affiner, développer et coordonner** les différentes **représentations du nombre** (Figure n° 6). Le dysfonctionnement **électif** de chacune d'entre elles peut perturber certains aspects de la construction du nombre, réalisant chacune une **dyscalculie spécifique**, qu'il s'agira de préciser.

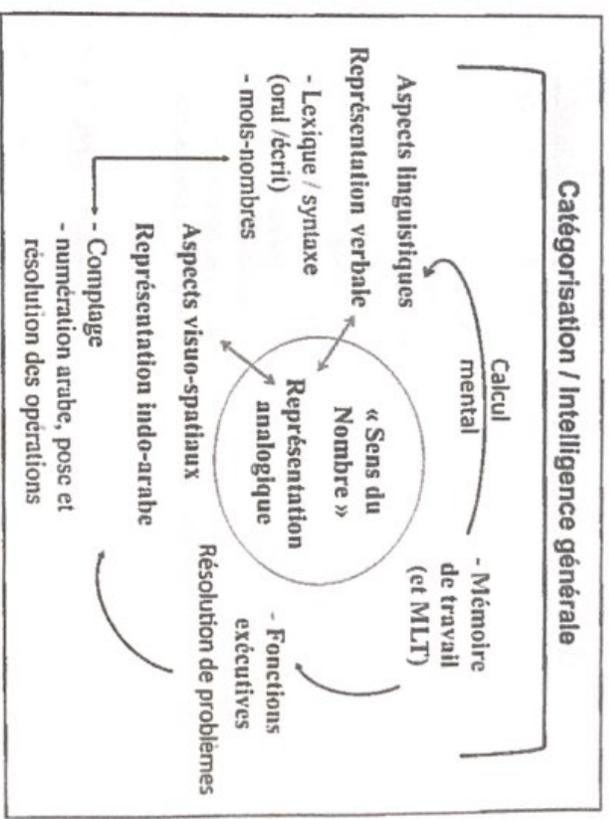


Figure n° 6 : Principales fonctions cognitives impliquées dans la construction et l'utilisation du nombre

Ainsi, le **déficit d'acquisition** dans le domaine **numérique** peut relever :

- soit d'une **déficience intellectuelle légère**, qui, avec le temps et les exigences scolaires, se manifestera potentiellement dans d'autres apprentissages et relève donc globalement de la prise en charge de la **déficience mentale** ;
- soit d'une **défaillance** dans l'environnement et les **propositions faites** à l'enfant : situation de **précarité socio-économique** dont on connaît les **répercussions négatives** dans les apprentissages, **défaut de scolarisation** (gens du voyage, **déménagements fréquents**, **émigration**, **hospitalisations longues** ou **fréquentes...**), **erreurs pédagogiques** ;
- soit d'un **trouble cognitif spécifique**, résultant du **dysfonctionnement** de tel ou tel système cognitif focal (Figure n° 6), chacune des **fonctions cognitives** impliquées dans les apprentissages numériques pouvant être à l'origine d'un **déficit particulier** dans les acquisitions concernant le nombre et le calcul.

Il nous faut donc d'abord définir précisément les **critères communs** à l'ensemble des **troubles cognitifs spécifiques** (dont les troubles spécifiques des apprentissages), désignés sous le terme de « **dys** ».

◆ Les critères de dys

Parler de dyscalculie impose en effet que le déficit en numération et calcul, rapporté à l'âge et au niveau scolaire de l'enfant, remplisse *tous les critères de dys*, à savoir que le déficit soit :

- **intense** : dans un test étalonné pertinent, la performance de l'enfant le situe en deçà de -1,6 (ou pire, en deçà de -2) E.T (ou D.S) de la norme⁹ : il ne s'agit pas d'une simple « faiblesse » dans le domaine ;
- **durable** : ces contre-performances sont constatées depuis au moins 6 mois en réalité, on peut le plus souvent montrer qu'elles existent de longue date, voire, d'emblée, dès le début de l'apprentissage) : il ne s'agit pas d'un fléchissement ponctuel dans le parcours de l'enfant ;
- et **spécifique**¹⁰. Ce terme s'oppose à celui de trouble cognitif « global » ce qui exclut une déficience intellectuelle (quelle qu'en soit l'origine) ou une *difficulté extrinsèque* à l'enfant (milieu socio-éducatif défaillant ou précaire, erreurs pédagogiques, absence ou interruptions de scolarisation...).

La question de la **détermination de l'efficiency intellectuelle** de l'élève est donc centrale dans le diagnostic de dys en général et de dyscalculie en particulier.

C'est la passation des **échelles de Wechsler** adaptées à l'âge (WPPSI, WISC) qui est habituellement utilisée pour déterminer le niveau intellectuel (quelquefois désigné sous le terme de « niveau de développement »). Il s'agit d'échelles **composites**, proposant **diverses épreuves sollicitant plus ou moins telle ou telle composante cognitive** (le langage, la mémoire de travail, les fonctions visuo-spatiales ou praxiques, etc.). Certaines de ces épreuves sont particulièrement « saturées » en raisonnement déductif ou analogique, en logique, sollicitant essentiellement les capacités de *catégorisation/classification* : ce sont les épreuves qui testent particulièrement « l'intelligence générale », dites aussi épreuves de **facteur G** (similitudes, identification de concept, matrices...). Lorsque ces épreuves de catégorisation et de logique les épreuves de « **facteur g** » sont préservées (en tout ou en partie), avec une performance dans la fourchette de la norme, cela élimine une **déficience intellectuelle**.

Si le déficit observé répond à l'ensemble des critères de dys, il est légitime – et utile – de parler de *dyscalculie*.

⁹ E.T. : écart-type – D.S. : déviation standard. Entre -1 et -1,5 E.T. la performance est qualifiée de « faible » (et non de « pathologique »). Cela peut cependant constituer un handicap dans certaines circonstances qui devront être évaluées au cas par cas (autre dys associé, difficultés psycho-sociales, faible maîtrise du français, efficacité intellectuelle à la limite inférieure de la norme, etc.). À partir de -1,6 E.T. la performance est pathologique (déficit modéré), alors que le déficit est sévère à partir de -2 E.T. et massif en deçà.

¹⁰ Physiciens, troubles cognitifs spécifiques (dys) peuvent coexister (cumulatifs), abourdisant alors le pronostic.

Au total,

L'ensemble des arguments déclinés ci-dessus justifie amplement l'abandon du terme de « troubles logico-mathématiques » au profit de celui de « dyscalculies ». Le pluriel est très important, puisque le déficit dans les acquisitions du nombre et du calcul peut relever de *différents processus sous-jacents*, ce qui déterminera des *projets thérapeutiques extrêmement différents* selon les cas.

Contrairement au terme générique de « troubles logico-mathématiques » – qui se centre uniquement sur les opérations logiques et les fonctions raisonnementales déficientes –, le diagnostic de dyscalculie permet :

- d'écarter tout doute concernant une éventuelle déficience intellectuelle ;
- d'**accéder précisément au processus-dysfonctionnant**, qui pourra ainsi faire l'objet de **remédiations ciblées** ;
- de **s'assurer des processus cognitifs intacts**, sur lesquels il faudra s'appuyer et qui permettront de contourner, pallier ou compenser partiellement le trouble.

◆ Des "dyscalculies"

Réflexion-discussion sur l'emploi du terme « dyscalculie »

Dans ce domaine – comme dans celui de tous les dys – deux conceptions de la définition des dys entrent en concurrence, pour ne pas dire en opposition, et ce de façon le plus souvent implicite, donnant lieu à d'importants quiproquos ou conflits entre professionnels. **+ *général***

- *La définition clinique et initiale des dys* (et donc, des dyscalculies) précise que la **performance de l'enfant** dans le domaine considéré (ici, le nombre et le calcul) **se situe à moins de -1,6 DS** (ou, si l'on est plus exigeant, à moins de -2 DS), durablement, alors qu'il n'est ni déficient mental, ni suspect de troubles du spectre de l'autisme, ni victime d'un important défaut de scolarisation. Le DSM définit les conditions d'appellation d'un dys (d'un trouble spécifique des apprentissages dans tel ou tel secteur des apprentissages) selon des critères de même nature. Il est clair que ces critères définissent *un symptôme*, c'est-à-dire *la manifestation* d'une anomalie qui peut relever de divers mécanismes.

C'est cette définition qui est la plus fréquemment utilisée *sur le terrain*, tant par les orthophonistes que les neuropsychologues, les médecins, les enseignants et les parents. Elle repose en effet sur les éléments dont dispose le clinicien :
 • la **plainte**, qui porte électivement sur les **faibles aptitudes** en calcul du jeune ;
 • la **contre-performance** à un test étalonné ciblant ces aptitudes, alors que l'enfant a fait la **preuve d'un niveau intellectuel** dans la norme (voir au-dessus).

C'est la raison pour laquelle nous reprenons ce vocable de *dys-calculie*, qui n'a donc ici valeur que de symptôme (et non de diagnostic. Cf. Mazeau et Poullet, 2014, chap. 1) : ce terme en effet ne dit rien sur le ou les processus sous-jacents, qui peuvent être liés à des anomalies (ou des déficits) *intrinsèques* du secteur numérique ou bien être la diffusion d'un trouble affectant une autre fonction cognitive indirectement impliquée dans la construction du nombre et du calcul (Figure n° 4).

C'est la raison pour laquelle nous avons choisi de parler « des » *dyscalculies* (ci-dessous). Notons cependant que, dans cette définition (comme d'ailleurs dans celles des *dyslexies*), il est curieux de regrouper en *dyscalculies* toutes sortes de *conséquences* dans le domaine numérique, de troubles qui de fait sont... langagiers, mnésiques, spatiaux, attentionnels ou exécutifs.

- *La définition neuropsychologique* des dys, elle, fait référence au dysfonctionnement (anormal, déficit, trouble) spécifique du système neuronal (ou d'un des sous-systèmes) dédié à telle ou telle fonction cognitive. Outre l'élimination d'autres pathologies susceptibles de donner des symptômes proches ou identiques, cela implique de mettre en évidence des signes positifs qui traduisent l'altération élective de ce système (ou sous-système).

Dans cette conception, le terme de *dyscalculie* désigne un *diagnostic*, précisant qu'il résulte d'une altération développementale des réseaux de neurones intrinsèquement dédiés au sens du nombre. Dans cette conception, seul le « *trouble du sens du nombre* » est une *réelle dyscalculie, au sens strict*. Elle se caractérise par des troubles qui affectent l'ensemble des aptitudes numériques, et en particulier (signes positifs), par une incompétence à l'estimation des quantités et des anomalies de constitution de la représentation *analogique* des nombres.

- *In fine*, nous avons pris le parti d'utiliser ici le terme de *dyscalculie* tel que supporté par le DSM et utilisé par la plupart des cliniciens, afin de partir des constatations de terrain et d'attirer l'attention des professionnels sur la *double signification* de ce terme.

Le concept de nombre, la numération et le calcul sollicitent de nombreuses fonctions cognitives qui évoluent chez l'enfant à des rythmes différents et qui doivent in fine se coordonner pour une utilisation mature et efficace de nombre (Figure n° 4). Ce schéma implique clairement la possibilité de cinq types de *dyscalculies* qui n'ont pas toutes la même signification et sont réparties en deux groupes de signification très différente.

Il faut en effet distinguer :

- d'une part le *trouble du sens du nombre*, dit aussi *dyscalculie primaire* ou *dys-calculie « vraie »*,

- d'autre part les *dyscalculies-symptômes* ou *dyscalculies secondaires* à un autre trouble cognitif. La remédiation doit alors viser le trouble d'amont et, *simultanément*, utiliser les fonctions préservées pour permettre un accès le plus fonctionnel possible aux nombres et à ses usages. Dans ce groupe, on trouve les répercussions dans le nombre et le calcul, de troubles :

- des fonctions langagières, sur lesquelles reposent les représentations verbales ;
- des fonctions visuo-spatiales, sur lesquelles reposent les représentations indo-arabes ;
- des fonctions exécutives, sur lesquelles reposent les calculs, leur planification, la stratégie de résolution de problèmes, le jugement de plausibilité du résultat, la détection et la correction des erreurs ;
- des *mémoires* (mémoire de travail MT et mémoire à long terme MLT), sur lesquelles reposent le calcul mental, l'engrammation des faits numériques, certaines procédures de calcul.

Le trouble du sens du nombre

Il s'agit de la seule *dyscalculie primaire*, directement liée à un dysfonctionnement *intrinsèque* du système cérébral spécifiquement dédié à l'estimation de quantités et à leur représentation analogique.

Elle se manifeste par une incapacité précoce et rebelle à acquérir, manipuler et utiliser les nombres. Pour de petits ajouts, l'enfant est longtemps obligé de recourir à un recouvrement du tout sur ses doigts et il peine à acquérir une procédure plus mature. Il n'a qu'une idée approximative ou fluctuante de ce que représentent, ce que signifient les mots-nombres ou les assemblages de chiffres arabes composant les nombres qu'il lit (plus ou moins bien) ou qu'il écrit. Il peut ainsi dire que 30 mots dans un livre « c'est beaucoup ».

Les tests spécialisés révèlent des performances plus ou moins déficitaires dans tous les secteurs mais l'on note en particulier l'échec aux épreuves qui sollicitent l'estimation approximative de la numérosité d'une collection et l'échec (avec souvent des réponses totalement au hasard) aux épreuves évaluant la représentation analogique du nombre sous sa forme verbale ou indo-arabe (lignes analogiques du Zarcki-R, compteur de vitesse du Numérical...).

La remédiation fait essentiellement appel aux jeux de plateau qui associent de façon systématique et proportionnelle un nombre et la longueur du déplacement du joueur. On notera en particulier des jeux informatisés tels *l'Estimateur* (Willeite et al, 2010) ou *La course aux nombres* (Wilson et al, 2006). Cependant, il nous semble que le pronostic de ce trouble est assez réservé, soit que nous n'ayons rencontré que des jeunes présentant un trouble sévère (les troubles plus légers ayant échappé au diagnostic), soit que nos interventions aient été trop tardives (les diagnostics eux-mêmes intervenant tardivement pour ces diagnostics récemment mis au jour).

Dyscalculie symptôme d'un trouble linguistique

Ce sont ici les performances verbales qui sont franchement déficitaires : l'enfant ne peut apprendre ni automatiser la chaîne verbale des mots-nombres. Cette difficulté est durable et rebelle, *particulièrement* notable pour les « irréguliers » (de onze à seize, puis vingt, les séries soixante/soixante-dix et quatre-vingt/quatre-vingt-dix...), perturbant précocement le comptage et le dénombrement, puis le transcodage « nombre oral ↔ nombre arabe ».

Le trouble du langage peut être déjà connu : la dyscalculie se dévoile alors secondairement, conséquence des difficultés linguistiques et du déficit en mémoire de travail. Ce n'est aucunement un « multidyss » (cf. Figure 9) et c'est bien le trouble langagier qui doit être pris en compte.

Mais la dyscalculie peut aussi être inaugurale, par exemple au décours d'une dysphasie d'expression particulière, peu diagnostiquée, telle le « manque du mot » (ou anomie), rendant le diagnostic beaucoup plus complexe. Le manque du mot, même intense, peut en effet longtemps passer inaperçu en langage spontané s'il est isolé (utilisation de synonymes, d'approximations, de périphrases, de mots passe-partout tels : trucs, machins...). Mais l'utilisation des mots-nombres ne peut laisser place à la moindre approximation : si verre/ (voire/le truc pour boire) peut aisément remplacer /gobelet/ en langage oral courant, /onze/ ne peut pas servir à remplacer /douze/ ! Le lexique numérique est à la fois un lexique fermé (on peut en dresser la liste exhaustive) et sans aucune redondance ni approximation possibles.

Ainsi, K., en fin de CP, ne peut toujours pas mémoriser la litanie des mots-nombre et ne peut trouver le mot-nombre correspondant à une quantité précise. Pourtant, il sait égaliser deux collections, une de 15 jetons et une de 8, en ajoutant 7 jetons à la collection de 8. Il écrit /quatorze/ dicté oralement « 44 », car dit-il, il sait que c'est « un nombre de la famille des 4 mais le 4 tout seul ça fait /quatre/ », d'où... l'ajout d'un second 4. Pour lire le nombre écrit 20, après un très long temps de réflexion, il propose /onze ?/ et explique « après un 1 et un 0 qui se disent /dix/, il doit y avoir le 2 avec un 0 (là réside son erreur) et après /dix/, je crois que c'est /onze/ ». Le bilan de langage oral mettra en effet en évidence un manque du mot sévère.

Chez tous les jeunes dysphasiques, outre le travail proprement langagier, il faudra privilégier les représentations analogiques et indo-arabes du nombre, stables et indépendantes de la langue, sur lesquelles l'enfant pourra s'appuyer pour construire le nombre, le manipuler, l'utiliser (en partie).

Dyscalculie symptôme d'un trouble visuo-spatial

Il s'agit là d'un symptôme fréquent dans le cadre d'une dyspraxie visuo-spatiale. Les aspects spatiaux de la numération arabe (numération de position) mettent ces jeunes en grande difficulté. Là encore, il peut s'agir :

- soit d'un trouble prévisible, que l'on aura anticipé dans le cadre du suivi d'un

jeune dont la dyspraxie est déjà diagnostiquée et dont on a répété les troubles visuo-spatiaux,

- soit au contraire d'un symptôme inaugural chez un jeune sans aucun antécédent de dyspraxie connu.

L'évaluation mathématique montre l'échec systématique à toutes les épreuves sollicitant la numération arabe (lecture et écriture de nombres en chiffres arabes, transcodages verbal ↔ arabe, procédures de réalisation des opérations) avec une nette prédominance des erreurs spatiales (Figure 7).

On remarque des erreurs de positionnement des chiffres (Figure 7-a) ou des virgules, des confusions de nombres « en miroir » (ex : 12 vs 21), alors qu'il n'y a pas trouble de la représentation analogique des nombres (Figure 7-b) :

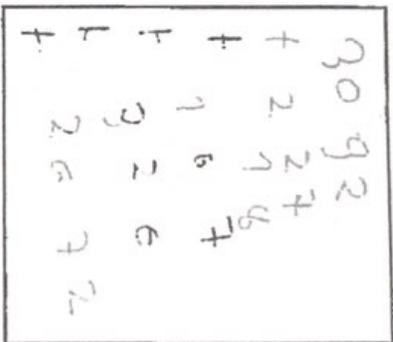


Figure 7a : F., 5ème, 13 ans. Addition dictée oralement.

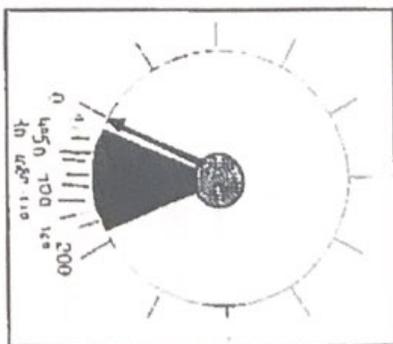


Figure 7b : J., CM2. Le compteur de vitesse (Numerical)

- Figure 7-a : On note les difficultés d'alignement des chiffres. Les signes + ont été alignés, d'après F., « en s'aidant du bord de la feuille ». On note également la dysgraphie (les chiffres sont réalisés maladroitement) qui a toujours été interprétée comme la marque de sa faible motivation pour la scolarité. Le bilan à visée diagnostique mettra à jour une dyspraxie visuo-spatiale, méconnue jusqu'alors.

- Figure 7-b : Les grosses difficultés neurovisuelles de J. (dyspraxique) se manifestent ici : il ne « voit » pas le compteur de vitesse et ne perçoit que le triangle noir borné par les nombres 0 à gauche et 200 à droite. Il dispose alors les nombres dictés par l'examineur sur une ligne virtuelle incurvée comprise entre 0 et 200. Cette performance est bien sûr hors étalonnage, mais il est évident que J. estime parfaitement la position des nombres sur cette pseudo-ligne analogique.

Outre le diagnostic et la prise en charge de la dyspraxie – et les adaptations particulières que cela impose¹¹, il est utile de s'appuyer sur les représentations verbales et analogiques du nombre, préservées.

Dyscalculie symptôme d'un trouble muséique (MT-MIT)

On retrouve un déficit en MT en amont de certaines dyscalculies.

Les petits faits numériques, les calculs mentaux les plus simples, sont alors impossibles. La manipulation mentale des nombres étant particulièrement exigeante en MT, il est très possible que ce soit là le signe d'appel, le premier symptôme d'une difficulté qui se manifesterait ensuite, mais à un moindre degré, dans les autres apprentissages (langage oral ou écrit...).

Aider l'enfant consiste alors, outre l'entraînement spécifique de la MT, à « poser sur la table ce qu'il ne peut avoir en tête » : les faits numériques et les tables de Pythagore, ou encore les données numériques du problème, seront à portée de vue (sous un sous-main transparent, par exemple) ; les exercices de calcul mental seront écrits et l'usage de la calculatrice autorisé précocement.

NB : Dans nombre de cas, le déficit en MT s'intègre dans un syndrome dys-exécutif qui associe, à divers degrés : un déficit attentionnel, un trouble de la mise à jour de la MT (administrateur central) et un déficit des fonctions d'inhibition et de planification (ci-dessous).

Dyscalculie symptôme d'un TDAH ou d'un syndrome dys-exécutif

Là encore, la dyscalculie peut être inaugurale si les anomalies comportementales sont modérées et/ou ont été interrompues dans le cadre psychologique ou socio-éducatif (Moret & Mazeau, 2013). Ce qui frappe, c'est la conjonction, dans le raisonnement et le calcul (Figure n° 8) :

- de persévérations et rigidité mentale,
- de la non-inhibition de la réponse dominante antérieurement apprise (addition),
- des oublis (de données, de retenues...), traduisant le trouble attentionnel,
- d'une logorrhée, de diffusions, de coq-à-l'âne,
- des résultats médiocres et très fluctuants dans l'ensemble des apprentissages.
- le tout associé à un déficit en MT.

Les résultats aux bilans spécialisés dans l'évaluation des performances mathématiques sont extrêmement fluctuants et non constants, infiltrés des troubles cités ci-dessus, tous signes *quelquefois* associés à une importante agitation motrice. Cette tonalité clinique particulière des échecs (troubles attentionnels, déficit en MT, impulsivité et déficit des fonctions inhibitrices) permet le diagnostic, indiquant

alors une remédiation cognitive ou métacognitive (Lussier, 2009 ; Gagné, 2004, 2008) et, le cas échéant, un traitement médicamenteux (méthylphénidate).

12 ½ ans, en 5^{ème}, en échec scolaire. Consulte pour trouble du calcul - Similitudes = 10

Multiplication dictée : 75,6 x 3,5

$$\begin{array}{r} 75,6 \\ \times 3,5 \\ \hline 378 \\ 1512 \\ \hline 2646,0 \end{array}$$

• 5 x 3, 15 %, pose le 5 et la retenue à G et en bas du 6 du multiplicande

• Addition des 4 chiffres de cette colonne : 6 et 1 (retenue), 7 et 3 → 10, pose le 0 et ajoute une retenue au-dessus du 7, retenue qu'il barre et ré-écrit à G du 5 du multiplicande

• Addition des chiffres de cette colonne : 5 et 1 (la retenue qu'il vient de poser), 6 %, pose le 6

• 7 et 1 (la retenue précédemment barrée), 8 : 8 fois 5, 40 %, pose 40

(on arrête ensuite l'opération en cours ...)

Figure 8 : Irruptions non inhibées de la routine dominante (addition)¹²

Au total

Les troubles d'apprentissage dans le domaine du nombre et du calcul peuvent être intrinsèques, réalisant une dyscalculie primaire ou trouble du sens du nombre, - ou bien traduire la diffusion dans le domaine numérique d'un autre trouble cognitif en amont. Dans ces cas, on parle alors de *dyscalculies symptomatiques ou de dyscalculies secondaires*. C'est l'analyse clinique qualitative des erreurs de l'enfant qui est la clé de ces diagnostics.

En pratique clinique ces dyscalculies secondaires peuvent se présenter très différemment :

- soit le trouble initial (langagier, lexique, visuo-spatial, exécutif...) est déjà connu, et la dyscalculie s'ajoute alors au tableau, aggravant le pronostic scolaire ;
- soit la plainte concernant le calcul est première, constituant alors le seul motif de consultation. Au cours de l'évolution, la plainte concernant le calcul peut rester isolée (soit que les signes associés liés au trouble d'amont soient discrets, soit qu'ils soient particulièrement bien tolérés par l'enfant et son entourage), ou bien au contraire le trouble d'amont peut se manifester ensuite dans les autres secteurs des apprentissages (dyslexie, dysgraphie, dyspraxie, etc.).

¹¹ www.lecentredefinistricque.fr

¹² Ekraoui del M, Mazeau & A. Pouchet, Neuropsychologie et troubles des apprentissages, 2^{ème} éd., Masson, 2014

Quoi qu'il en soit, il est très important de ne pas considérer ces différents symptômes cognitifs comme une succession de troubles indépendants (ce ne sont pas des « multi-dys »), ce qui induirait une juxtaposition nuisible de rééducations (deux exemples, cf. Figure n° 9).

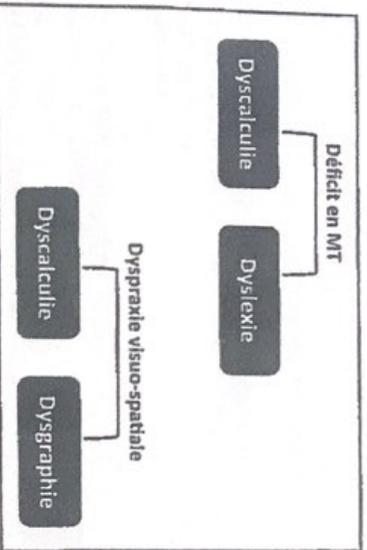


Figure n° 9 : Exemples d'associations de symptômes qui relèvent d'un seul diagnostic en amont.

Les associations de symptômes dans le domaine des dys ne doivent donc pas être systématiquement considérées comme des comorbidités de type dyspraxie et dyscalculie, ou dyslexie et dyscalculie, ou TDA/H et dyscalculie... Outre le caractère désespérant (pour l'élève autant que pour l'enseignant ou le rééducateur) de ces pseudo-multi-dys (très largement surestimés), cela conduit à multiplier inutilement les rééducateurs et les interventions.

Impact sur les bilans et les interventions thérapeutiques

1 - La *passation des échelles de Wechsler* est incontournable en première intention, puisqu'il faut d'abord s'assurer de l'absence d'une déficience intellectuelle susceptible de rendre compte des difficultés en numération et mathématique.

Dans l'éventualité d'un dys, il faut éviter de calculer les notes d'indices et/ou les différents QI, notes qui amalgament les performances à différentes épreuves : cela risque de lisser les hétérogénéités qui sont la marque des dys (puisque certaines fonctions cognitives dysfonctionnent alors que d'autres sont intactes). Ce risque est d'autant plus important lors des *dyscalculies secondaires* (dyscalculies symptômes), du fait de la présence du trouble cognitif d'abord généralement encore non investigué au moment où sont pratiquées les échelles de Wechsler. Il est donc très important de s'attacher à repérer l'efficacité de l'enfant dans les

épreuves très saturées en facteur g, les épreuves de logique et de catégorisation/classification.

1 - Puis l'on propose un bilan centré sur l'apprentissage du nombre et du calcul. Il existe différents tests, qui, tous, évaluent les diverses facettes du nombre et leur utilisation dans différents contextes. Ils permettent donc de situer un enfant par rapport à la norme, de juger d'une faiblesse ou d'une pathologie dans tel ou tel secteur des apprentissages. Cela permet d'objectiver le symptôme sur lequel porte la plainte (des parents, de l'enseignant), d'affirmer la présence d'un trouble et d'en évaluer l'intensité (via l'écart à la norme). Outre les opérations logiques (l'intelligence générale, le « facteur g »), il faut aussi investiguer l'ensemble des fonctions cognitives impliquées dans la longue construction du nombre et de ses applications (Figure n° 6).

Mais cela ne signifie pas qu'il faille multiplier sans fin les bilans, les tests, les évaluations. Il va au contraire falloir faire *in tri raisonné* dans les multiples épreuves à disposition des cliniciens et surtout porter une attention toute particulière aux aspects qualitatifs des performances de l'enfant : comment s'y prend-il pour réussir ou rater telle ou telle épreuve ? C'est là une source d'informations capitales sur les processus probablement dysfonctionnants ou déficients, ce qui permet d'orienter la suite du bilan, de choisir les épreuves pertinentes qui confirmeront (ou non) les hypothèses nées précédemment.

Le plus simple en première intention est de regrouper les épreuves en fonction des différentes fonctions cognitives exigées par chaque tâche au sein du test de numération/calcul choisi. Ainsi, il faut regrouper les épreuves sollicitant les représentations analogiques, celles qui réclament des compétences verbales, celles qui requièrent de bonnes capacités visuo-spatiales, celles recrutant énormément la MT, ou les fonctions exécutives, ou la MLT, etc. Cela permet, en corrélation avec les résultats aux échelles de Wechsler et les observations cliniques, de faire une ou des hypothèses concernant un éventuel trouble cognitif d'abord, derrière la dyscalculie.

- Enfin, il faudra tester cette hypothèse (la confirmer ou la réfuter) en proposant quelques épreuves ciblées dans le domaine cognitif suspect.

Ce travail d'éclaircissement diagnostique n'a qu'un seul objectif : guider le rééducateur et lui permettre de choisir la stratégie la plus efficace pour aider l'enfant.

Or, paradoxalement, aucun professionnel n'est spécialement désigné pour être en charge de ces rééducateurs. Personne – ni médecins, ni psychologues/ neurop- psychologues, ni rééducateurs – n'est réellement préparé au cours de sa formation initiale à la prise en charge du trouble du sens du nombre ni des dyscalculies secondaires. Sont donc habilités à le faire, pragmatiquement, tous les professionnels (quelle que soit leur formation initiale) qui se sont formés dans ce secteur, utilisent les bilans spécifiques, proposent des protocoles de rééducation adaptés et en évaluent les effets à moyen et long terme.

De fait, il est habituel que les orthophonistes assurent nombre de ces interventions : d'une part, certains se sont formés¹¹ ; d'autre part, ils sont – dans le champ du handicap cognitif – les seuls paramédicaux... dont les actes sont remboursés par la sécurité sociale ! En ce qui concerne les dyscalculies secondaires à des troubles linguistiques et/ou mnésiques, cela ne pose pas de véritable problème : les orthophonistes ont naturellement vocation à s'occuper de toutes les conséquences des troubles du langage et des déficits de la mémoire de travail, que les symptômes concernent le langage oral ou écrit ou encore leurs répercussions dans la construction et l'utilisation du nombre.

De leur côté, les ergothérapeutes sont généralement en charge des jeunes dyspraxiques d'âge scolaire. En contact avec les déficits des traitements spatiaux¹⁴, ceux qui ont bénéficié de formations dans le domaine du nombre et du calcul pourraient légitimement être habilités à aider les jeunes souffrant de dyscalculies « spatiales ».

Enfin, quelques neuropsychologues formés à la médiation cognitive du TDAH et des fonctions exécutives, sont armés pour diagnostiquer puis proposer des interventions thérapeutiques aux jeunes qui présentent un trouble « dys-exécutif », ces patients bénéficiant simultanément d'un traitement médicamenteux (méthylphénidate).

Au total

Ces diagnostics récents, ont littéralement fait exploser le champ de la rééducation des troubles de la construction du nombre. Actuellement, le risque est grand :

- que les parents, les enseignants, voire les médecins (scolaires ou les médecins traitants, les pédiatres...), face aux difficultés de l'enfant dans le domaine mathématique, soient perdus, ne sachant trop à qui s'adresser ;
- qu'une erreur initiale d'orientation conduise le jeune dans une impasse pérenne : comment l'orthophoniste va-t-il repérer une dyscalculie spatiale ou dys-exécutive ? Ou la déficience légère derrière le trouble « logico-mathématique » ? Comment l'ergothérapeute détectera-t-il un manque du mot ou un déficit en MT ?

Comment les familles et les enfants peuvent-ils vivre ces errances diagnostiques et rééducatives ?

Ces questions posent le problème – premier – de la formation des médecins, des psychologues et neuropsychologues, ainsi que de l'ensemble des rééducateurs dans le domaine du nombre et de son utilisation. Plus largement, c'est la question de la formation aux troubles cognitifs spécifiques, aux dys.

¹¹ Initialement formés aux troubles « logico-mathématiques », certains orthophonistes (tout comme certains orthophonistes ou neuropsychologues) se sont plus récemment formés à la cognition numérique et aux dyscalculies.

¹⁴ Selon les écoles d'ergothérapie... Ils ne sont pourtant pas tous formés à ces pathologies visuo-spatiales lors de leur formation initiale...

Conclusion

Ces cinquante dernières années, l'évolution des neurosciences, l'avènement des dys et du « sens du nombre » (Dehaene, 2010), la mise en évidence d'un large éventail de dyscalculies ont grandement bousculé le champ de la pathologie développementale du nombre et du calcul.

On est passé d'un concept unique (le retard ou le déficit dans la construction des opérations logiques) à toute une gamme de troubles dans les apprentissages numériques, reposant sur des processus cognitifs forts différents.

Actuellement, ce sont certainement les médecins formés à la neuropsychologie infantile (rares) et les neuropsychologues expérimentés dans les pathologies développementales de l'enfant qui sont le plus à même de faire ces diagnostics, qui disposent des éléments cliniques et des bilans les plus appropriés pour accéder au processus dysfonctionnant perturbant la construction du nombre. Il est cependant exclu que ces professionnels (peu nombreux, et en libéral non remboursés par la sécurité sociale) assurent l'ensemble de ces diagnostics, et encore moins les interventions thérapeutiques adaptées qui doivent suivre ces diagnostics.

En réalité, le domaine des dyscalculies met en lumière et sensibilise particulièrement un problème beaucoup plus général lié à l'avènement des dys, à savoir l'absence de spécialistes des troubles spécifiques du développement cognitif de l'enfant, qu'il s'agisse de l'insuffisance criante de médecins compétents ou de la formation (initiale et continue) de l'ensemble des psychologues et paramédicaux.