

De l'apprentissage du Braille au dessin des graphes de Feynman.

Je me propose de relater l'expérience de mon intégration, en tant qu'élève déficient visuel, au sein d'établissements dépourvus la plupart du temps de structure d'accueil particulière. Elle a débuté dès le plus jeune âge, en 1984, et s'est achevée en 2006 par l'obtention d'un diplôme de Doctorat de Physique: je pense donc m'être fait une idée assez juste des éléments qu'il faut réunir en plus de ses propres capacités pour s'assurer dans ces circonstances une bonne réussite scolaire, et ce aux divers degrés du parcours académique.

Introduction

Lorsque j'ai appris qu'un numéro spécial de la revue « Repères IREM » était consacré à l'accueil des enfants handicapés dans la classe de Mathématiques, j'ai d'abord longuement hésité à me manifester. Il est vrai que j'avais envie depuis plusieurs années déjà de coucher sur papier quelques idées concernant le sujet, et ainsi d'exprimer implicitement ma gratitude envers mes professeurs qui, la plupart du temps, ont réagi du mieux possible face à une situation, certes inhabituelle pour eux, mais pas pour autant tragique. Cependant rapporter ce genre de souvenirs est délicat: soit ils sont anciens et ceux ayant trait au quotidien du cours de Mathématiques sont fugaces, soit ils sont plus récents mais très peu de gens se sentiront concernés, car ils se réfèrent à des études de haut niveau rarement poursuivies en général par mes compagnons d'infortune. Finalement je me suis décidé à prendre la plume, encouragé par quelques collègues et par mes proches auxquels j'ai exposé mes intentions.

Pour fixer les idées, je dois écrire quelques lignes sur mon handicap et ses conséquences, car le diagnostic ophtalmologique actuel « a une vision de loin de 1/50, compte les doigts à un mètre », même s'il est utile pour un médecin, ne rend pas suffisamment compte selon moi de ce que nous ressentons dans la vie courante. Je souffre du Syndrome de Peters, dont l'effet le plus spectaculaire sur les yeux est l'opacité de la cornée; il y en a d'autres, plus insidieux, mais il n'est pas nécessaire d'en discuter ici. Cela signifie qu'il y a moins de lumière qui atteint le fond de l'œil: j'ai donc du mal à distinguer les détails sur une image ou autour de moi, surtout s'ils sont statiques. Ainsi, lorsque je jouais aux billes étant petit, laissant libre cours à mon imagination, et que j'en égarais une, je mettais du temps à la récupérer, même si elle se trouvait en plein milieu de la pièce dans un espace ouvert: je me lançais dans une sorte de marche aléatoire à deux dimensions, les mains en avant et époussetant copieusement le sol, et je finissais par rencontrer l'objet convoité dans un temps relativement conforme à la loi de diffusion connue en Physique Statistique. Aujourd'hui, déceler rapidement l'endroit sur un écran d'ordinateur où se trouve le pointeur de la souris sans bouger celle-ci (et sans augmenter la taille du pointeur) m'est impossible: j'agis alors sur la table de tracé de manière à déplacer le pointeur dans un coin de l'écran, pour pouvoir le suivre des yeux ensuite. Dans la rue il m'arrive de rester plusieurs secondes à chercher anxieusement du regard le feu piéton se trouvant de l'autre côté du passage protégé, en particulier quand sa luminosité n'est pas excellente. En revanche, depuis une greffe de cornée réalisée pendant mon adolescence sur l'œil le moins atteint, je peux lire de tous petits caractères en plaçant celui-ci à 2 ou 3 cm du livre ou de l'écran sur lequel je suis en train de travailler: un agrandissement de leur taille diminue certainement ma fatigue, mais il y a un compromis à trouver car j'ai un champ visuel très étroit. Si cette minuscule fenêtre de bonne vue venait à se détériorer, je me considérerais alors comme presque aveugle, ne pouvant plus accomplir ce pour quoi j'ai consenti tant d'efforts. Par ailleurs la vision du relief laisse à désirer: atteindre les extrémités des volées de marches nécessite plus de précautions que pour les valides. En Allemagne, dans les bâtiments fréquentés par le public, on a eu la délicate attention de les rendre plus visibles en peignant dessus une bande de couleur, souvent jaune; on serait bien inspiré de prendre une mesure analogue en France, car pour le moment je n'y ai

pratiquement encore rien vu de tel: c'est pourtant extrêmement simple, efficace, et on montre à peu de frais qu'on soutient les handicapés dans leur volonté d'être autonomes dans leurs déplacements. Enfin, en ce qui concerne ma vie en classe, le désagrément majeur de mon handicap est que je ne distinguais pas ce qui était inscrit au tableau. Aujourd'hui je déchiffre ce qui est montré sur les transparents lors des conférences en les regardant à travers une petite longue-vue; malheureusement je ne peux pas faire de même quand je présente les miens, il me faut par conséquent un peu plus de préparation que la normale, afin d'en mémoriser le contenu sans pour autant recourir au par cœur.

Je dois avertir les lecteurs que mon expérience n'est pas forcément généralisable pour tous les handicapés visuels. En particulier je ne prétends pas apporter de solution au problème épineux de l'intégration des enfants aveugles dans les établissements scolaires classiques. Je me place donc dès le début dans la situation où on peut voir ce qui est écrit sur son cahier, même si on a des difficultés à maintenir une attention maximale sur plusieurs heures. Je reconnais qu'il y a eu des progrès remarquables effectués récemment en matière d'aide technique à la scolarisation des aveugles, notamment en Mathématiques grâce aux logiciels de transcription BRAMANET ou NAT par exemple. Malheureusement j'ai la conviction que ces progrès se heurteront presque inéluctablement à la limite d'origine physiologique sur l'acquisition ou la maîtrise de connaissances très élaborées dans les disciplines scientifiques, à part peut-être pour quelques niches de recherche en Mathématiques fondamentales. En effet chacun, brailleux comme voyant, peut s'approprier les démonstrations du théorème de Cayley-Hamilton car il s'agit de pur raisonnement; comprendre pourquoi la figure d'interférence obtenue avec un interféromètre de Michelson placé en configuration « de coin d'air » est constituée de raies au voisinage des miroirs nécessite a priori de dessiner sur un papier la trajectoire des rayons « réels » et « virtuels », symétriques des premiers par rapport à la lame séparatrice, et les brailleux ont à mon avis des difficultés à imaginer la situation. En revanche je suis persuadé qu'il n'y a pas d'obstacles majeurs à scolariser très tôt les personnes telles que moi dans des établissements classiques; la seule précaution à prendre, et elle est importante, est de veiller à aménager d'une manière ou d'une autre les activités pouvant mettre en danger l'intégrité physique de l'individu, en particulier les travaux pratiques de Chimie, ou ceux de Physique ayant recours à des faisceaux Lasers. Enfin ma scolarité dans le secondaire s'est déroulée à une période où les moyens numériques étaient rudimentaires et peu usités; depuis la situation a nettement changé et on ne devra pas s'étonner que je n'en fasse pas mention: il se pourrait même que certains de mes commentaires n'auraient plus lieu d'être aujourd'hui.

A l'Ecole Primaire

Je dois en partie mon intégration précoce dans des établissements classiques à un contexte familial plutôt favorable. Mes parents, issus de la paysannerie, ont bénéficié comme beaucoup de l'ascenseur social des années 1960: ma mère est devenue institutrice, mon père enseignant en collège dans les disciplines à vocations scientifique et technique. C'est donc très naturellement que je me suis retrouvé scolarisé dans l'école maternelle où travaillait ma mère, me différenciant en cela de mon grand frère qui avait fréquenté l'école de notre village. A cette époque elle enseignait en classe enfantine et au CP: par conséquent je l'ai eue comme institutrice après 2 ans de présence dans l'établissement. Constatant que je m'intéressais beaucoup à ce que faisaient les « grands » elle m'a laissé partager leurs activités: lecture, écriture et calcul. Après consultation de la directrice de l'école, qui a encouragé la démarche, on m'a acheté un petit bureau incliné, de façon à ce que je ne me torde pas trop le dos en regardant de près mon cahier, et on l'a installé près d'une fenêtre pour avoir un maximum de lumière. Le livre de lecture était tel qu'il n'était pas nécessaire d'agrandir les caractères – je ne me souviens pas d'ailleurs qu'il ait existé dans l'école un appareil de reprographie pouvant accomplir cette tâche. Apprendre à lire et à compter me plaisait énormément, on m'avait demandé d'écrire les lettres dans les interlignes de mon cahier, afin que je les distingue mieux. J'étais déjà très à l'aise en calcul mental, les additions avec retenue ne me posaient pas de problème et j'écrivais les lignes d'opération avec attention. Enfin un aspect important est que, en dépit de mon statut un peu spécial sous différents points de vue, je m'entendais très bien avec mes petits

camarades et je participais aux jeux collectifs à la récréation avec autant d'ardeur que les autres.

Dès le plus jeune âge je compensais ma faible vue par une ouïe développée. J'avais remarqué que les oiseaux chantaient davantage au printemps mais j'étais un peu frustré de ne pas les identifier. Je posais des questions à ma mère, qui n'en savait pas plus que moi. Toutefois elle a pris l'initiative formidable de m'acheter des cassettes de chants d'oiseau: je me suis alors passionné pour l'ornithologie et j'ai pu reconnaître les espèces vivant autour de chez moi au premier cri qu'elles poussaient. Cela a puissamment exercé mon oreille et m'a été très précieux par la suite.

A la fin du CP j'avais donc acquis une année d'avance. Mes parents se sont alors interrogés sur ce que j'allais devenir: renseignements pris auprès d'un conseiller pédagogique, il a été décidé que je serais scolarisé au chef-lieu de département dans un établissement semi-adapté où j'évoluerais la plupart du temps dans une classe de CE1 normale mais que quelques heures par semaines seraient consacrées à l'apprentissage du Braille dans la structure d'accueil de l'établissement prévue à cet effet. Une entrevue en ma présence et au domicile de l'institutrice responsable de cette structure l'a convaincue de tenter avec moi cette expérience d'intégration, peu courante pour l'époque. Ces années n'ont pas été les plus réjouissantes sur le plan de l'affect: les journées étaient particulièrement éprouvantes puisque j'étais levé à 7 heures, j'avais 50 minutes de trajet à effectuer dans un taxi collectif emmenant également dans un établissement spécialisé des enfants souffrant de trisomie, apprendre comme tout le monde la grammaire, la conjugaison, les tables de multiplication, se perfectionner en calcul mental, mais en plus lire et écrire le Braille par la méthode du « é-a éa » (le « a » et le « é » se représentent en Braille par un point et six points marqués, respectivement, et constituent donc les lettres les plus faciles à différencier lors du premier contact avec cette nouvelle forme d'écriture), effectuer le trajet retour dans ces taxis collectifs avec les mêmes enfants handicapés mentaux, jusqu'à parvenir à la maison aux environs de 18 heures. Toutefois j'ai appris à m'apitoyer sur le sort des autres et à relativiser le mien: il arrivait parfois que les jeunes trisomiques connaissent des crises d'agressivité, j'attendais impatientement qu'elles cessent mais sans blâmer les malheureux; en outre ils parvenaient à se souvenir de moi et semblaient s'être inquiétés quand j'avais été absent quelques jours à cause d'une angine ou autre maladie, j'en éprouvais du bonheur pour eux. D'autre part je mesurais la chance que j'avais de pouvoir suivre des cours normaux, en voyant les activités proposées aux déficients visuels dans la structure d'accueil dans laquelle je séjournais quelques heures: bien sûr je ne doute pas qu'elles aient été adaptées à leur handicap (j'avais une vision de 1/20 à mon meilleur œil alors qu'un camarade n'avait que 1/100 par exemple) ou à leur âge (je crois me rappeler que des enfants de moins de 6 ans étaient présents) mais j'avais compris dès ce moment que je ne me résoudrais jamais à vivre dans ces sortes de vases clos et protégés, j'étais déterminé à surmonter les obstacles entravant ma scolarisation dans un milieu classique tant que je pourrais lire et écrire plus ou moins normalement; j'avais soif de connaissances, quel qu'en soit le prix. Je me résignais à maîtriser la pratique du Braille, j'avais parfaitement conscience que c'était indispensable, mais j'étais également particulièrement heureux de l'initiative prise par les personnes s'occupant de nous de m'apprendre la dactylographie, alors que j'évoluais en CE2: je savais que cela pouvait être très important car je voyais à la maison mon père taper à la machine pour ses activités d'élu local et j'avais noté sa lenteur à frapper les touches, car il n'agissait qu'avec 3 doigts en regardant celles-ci, quand j'utilisais 9 doigts en regardant constamment ma feuille de papier, ce qui accélérât sensiblement la typographie. 20 années plus tard je procède toujours de même, sauf que l'écran a remplacé le papier. Toujours dans le but de me fournir les bagages pour la prise de notes en milieu classique il avait été envisagé de m'enseigner la sténographie, ce qui ne s'est en définitive pas réalisé. J'avais également une séance hebdomadaire de psychomotricité avec une personne spécialisée dans ce domaine; différentes activités y étaient proposées comme le jeu de quilles, monter à un espalier, deviner ou faire deviner des mots (le jeu du « pendu ») ou bien marcher dans la rue avec une canne blanche, s'y orienter et traverser les voies publiques sans danger. Je garde un bon souvenir de ces séances. Durant cette période de Cours Élémentaires on m'a acheté comme moyen de compensation du handicap visuel une petite longue-vue, pour pouvoir lire au tableau. Le premier essai a été une réussite, j'étais très content; malheureusement je me suis rapidement rendu compte que ce n'était pas forcément la solution

idéale, car le tableau mouillé à l'éponge et en train de sécher laissait apparaître une série de zones plus ou moins sombres et rendait les caractères fraîchement écrits à la craie quasiment illisibles, en tout cas pour moi. J'ai donc renoncé à l'utilisation de ma longue-vue en classe, et ce jusqu'à la fin de ma scolarité. Je me suis habitué à noter sur mon cahier en reprenant les paroles prononcées par l'enseignant: cela explique en partie pourquoi j'étais à l'aise en dictées par exemple. C'est pour cela que l'exercice de mon oreille par la perception des chants d'oiseau, en plus de l'apprentissage du piano, s'est avéré si crucial dans la poursuite de mon cursus scolaire. Les autres moyens de compensation ont été des lampes installées à mes tables en classe et chez moi, la pose dans ma chambre d'un bureau ayant différents niveaux d'inclinaison possibles et l'achat d'un photocopieur pouvant agrandir les documents. J'y ai eu recours de temps à autre mais pas de manière suffisante pour que son absence eût été préjudiciable: je lisais simplement les traités d'ornithologie, les revues ou les livres de jeunesse sous une lampe. Enfin, souhaitant exposer mes capacités et illustrer que j'avais certainement les moyens intellectuels de réussir mon intégration, l'institutrice responsable de la structure d'accueil avait eu un jour l'idée d'organiser une partie d'échecs avec moi un peu particulière, dans le sens où elle était filmée. Elle savait que je pratiquais ce jeu, et nous nous y adonnions de temps en temps un petit quart d'heure en fin de séance de travail du Braille, pour me délasser. Le cocasse de l'histoire est que j'ai gagné après 3 ou 4 coups seulement, elle avait commis une erreur grossière: je me suis toujours demandé si c'était volontaire ou pas. En tout état de cause, le film, que nous avons visionné en présence du directeur de l'école et en en souriant à l'avance, n'a duré qu'une minute à peine...

A la fin de la période de Cours Élémentaires, mes parents se sont une fois de plus interrogés sur mon avenir. Ils ont un temps envisagé de m'envoyer dans un institut spécialisé, craignant malgré les signes encourageants déjà enregistrés que je ne parvienne pas à assimiler pleinement les connaissances nouvelles ou augmenter mon rythme de travail si je me trouvais en classe normale. Je leur ai alors clairement fait entendre que ce n'était pas du tout à mon goût et je leur ai dit que j'étais psychologiquement prêt à endurer les difficultés qui pouvaient surgir car je voulais prouver que j'étais capable d'évoluer dans le monde des valides avec le maximum d'autonomie possible. Je leur rends grâce d'avoir compris et épousé mon point de vue. J'ai été scolarisé dans l'établissement où enseignait ma mère, le même où j'avais appris à lire, ce qui m'a permis de retrouver mes camarades d'enfance. L'instituteur des classes de CM1 et CM2, qui se trouvait être le directeur de l'école, avait très aimablement accepté de m'accueillir et prolonger avec moi l'expérience d'intégration, quelque chose qui lui était pourtant totalement inconnu: il avait semble-t-il été rassuré par le rapport de ce qui m'était advenu les années précédentes. Et de fait mon année de CM1 s'est très bien passée: j'avais une lampe à ma table, l'enseignant me dictait les opérations écrites au tableau que nous avions à accomplir en début de journée, j'avais bien assimilé le test de vérification du résultat d'une multiplication – la « preuve par 9 ». Comprendre comment diviser 2 nombres a pris un tout petit peu plus de temps: il fallait que j'acquière la manière de disposer les nombres ou les chiffres du dividende, du diviseur, du quotient et ainsi de suite. L'instituteur est venu à une reprise à ma table pour me réexpliquer comment procéder sur un exemple; il avait effectué la démonstration au tableau mais j'étais incapable de suivre. Comme j'étais à l'aise en calcul mental, j'ai rapidement saisi ce qu'on demandait et ce seul exemple m'a suffi. Je n'affirme pas du tout que je n'ai pas commis d'erreurs de calcul par la suite, cela a dû certainement m'arriver comme à tout le monde, mais je présente ici un premier cas où une intervention précoce de l'enseignant à la table d'un élève déficient visuel, pour lui remonter ce qu'il n'a pas compris, ou pas vu, est efficace et extrêmement apprécié par l'intéressé. J'ai appris les premières notions de géométrie, notamment tracer à la règle, à l'équerre et au compas les quadrilatères remarquables: parallélogramme, losange, rectangle, carré. Comme moyen de compensation du handicap on m'avait acheté un compas assez évolué, avec une pointe très solide – au risque de me blesser - et une petite molette pour ajuster finement le rayon: j'en ai été très satisfait. L'équerre et la règle graduée dont je disposais n'avaient rien d'extraordinaire; en revanche le rapporteur était censé être adapté, avec des graduations bien marquées et un centre nettement visible. En pratique il n'était vraiment pas fameux, malheureusement: il était trop petit, le centre représenté par un petit disque en métal laissait à peine voir ce qu'il y avait sur le papier parce

que le trou dont il était percé était minuscule. Par chance j'en avais un autre, classique, qui me convenait très bien. Je ne me souviens pas que le tracé des figures géométriques simples m'ait causé beaucoup de difficultés, je peux seulement affirmer que j'appréciais l'exercice. Je ne saurais dire non plus si j'étais plus lent que mes camarades pour les faire: c'était certainement le cas mais j'avais au moins parfaitement intégré la démarche à suivre. La notion de fraction ne m'est pas non plus apparue incompréhensible: à la maison je distinguais très bien les parts de gâteau... Pendant les récréations je participais aux jeux de ballon avec autant d'acharnement et de plaisir que les autres, j'évitais juste de me trouver en face d'un des élèves de CM2 dont la frappe de balle était particulièrement puissante. Je me sentais beaucoup plus à l'aise dans cette petite cour d'école rurale que dans celle que j'avais fréquentée les années précédentes, qui me semblait immense avec pleins d'enfants au milieu desquels je recherchais fiévreusement des yeux ou des oreilles des têtes ou des voix connues. Aujourd'hui encore j'éprouve le même sentiment pendant les pauses café des conférences internationales rassemblant plusieurs centaines de personnes: je me retrouve rapidement noyé dans la foule, incapable de lire ce qu'il y a d'écrit sur le badge des autres participants et qui me permettrait de les identifier au cas où je souhaiterais leur poser des questions, et si je ne rencontre personne de familier j'ai tendance à revenir promptement dans les salles de conférence en attendant que les séances reprennent. Enfin mon intégration en classe de CM2 s'est déroulée dans la continuité par rapport à l'année précédente, sauf que ma mère a pris la place de mon ancien instituteur parti sous d'autres cieux.

En conclusion de cette section, particulièrement détaillée car elle contient les éléments fondateurs de ce qui m'est arrivé ensuite, je pense que l'intégration des enfants déficients visuels dans des classes d'école primaire est relativement simple. Il faut s'assurer qu'ils maîtrisent le Braille, au cas où leur situation de handicap deviendrait plus critique, mais le niveau de connaissances à assimiler n'est pas encore tel qu'il puisse être affecté par leurs problèmes physiologiques. De plus on a en permanence en face de soi la même personne qui délivre l'enseignement. Elle nous connaît, cela établit naturellement un lien de confiance, presque affectueux. J'ai donc l'impression que la majorité d'entre nous devrait statistiquement avoir en entrée de Sixième des capacités analogues à celles de nos petits camarades valides, en Français, en Arithmétique ou en Culture Générale. La prise de notes à l'oral est sans doute plus délicate à acquérir: nous avons le don d'être très attentifs à l'écoute, encore faut-il l'entraîner et savoir l'utiliser à bon escient, cela dépend probablement des individus.

Au Collège et au Lycée

Ayant prouvé à l'école primaire que j'étais capable de m'en sortir très honorablement et suite aux fortes réserves que j'avais émises quant à mon séjour dans un institut, mes parents ont décidé de m'envoyer au collège le plus proche de mon domicile, où enseignait mon père. Il a d'abord consulté ses collègues pour connaître leur état d'esprit. Aucun d'entre eux n'avait connu un cas similaire auparavant, ils étaient quelque peu réticents mais ils se sont finalement laissés convaincre. Ne sachant pas trop comment je réagirais face au changement de salle à opérer entre deux cours, il avait été convenu que ma classe aurait la plupart des enseignements dans une seule salle, comme cela se pratique au primaire: au lieu des élèves, c'était aux professeurs de se déplacer. Ils se sont pour la plupart pliés de bonne grâce à cette mesure, plutôt inhabituelle. Une lampe et une machine à écrire étaient installées à ma table, la machine me servant pour les dictées. Les seuls enseignements que nous n'avions pas dans cette salle étaient les Sciences Naturelles, la Technologie et l'Histoire-Géographie. Dans ce dernier cas j'ai eu du mal à comprendre que la professeure ne veuille pas quitter la salle où elle se trouvait la majeure partie du temps: au cours d'un échange bref, mais vif, je lui ai émis l'idée qu'il n'était peut-être pas insurmontable pour elle de transférer momentanément sa carte de géographie d'une salle à l'autre et qu'on pouvait facilement installer un rétroprojecteur. Elle s'est braquée, m'a lancé à la figure des mots très durs à recevoir pour un enfant de 10 ans, et j'ai fondu en larmes. Je me suis en fin de compte rendu à ses vues, nous avons eu cours dans sa salle, j'y ai mis une autre lampe; la suite (en fait dès la Cinquième) lui a donné raison, à savoir qu'il n'était

pas nécessaire pour moi d'avoir cours dans la même salle, on pourrait juste lui reprocher de ne pas avoir pris de gants pour exprimer son opinion. Elle a pu constater dès les semaines suivantes et les premiers devoirs sur table que je n'avais pas de difficultés à apprendre ce qu'elle nous enseignait, et le climat entre nous s'est apaisé. Il avait été convenu que je tape les dictées; je n'étais guère enthousiaste, car j'étais honteux d'éventuellement déranger mes camarades de classe par le bruit de la machine. Comme cela partait d'une bonne intention de ma professeure de Français, qui était également notre professeure principale, je me suis plié à la décision. Il est évident qu'aujourd'hui, avec les moyens modernes, j'accepterais cela avec beaucoup moins de réticence. Cette professeure était relativement jeune dans le métier: elle avait été agréablement surprise que mes résultats trimestriels me placent parmi les tous premiers de la classe. L'ennui est qu'à un moment elle m'a montré en exemple à des élèves ayant malheureusement des difficultés en Français: je pense qu'il faut éviter à tout prix ce genre de stigmatisation, bien qu'elle soit dans un certain sens positive, ou du moins à notre avantage, car cela peut s'avérer dangereux pour les relations entre enfants handicapés et valides. Nous sommes très vulnérables, un élève réprimandé peut facilement se venger en provoquant quelques heures plus tard une bousculade dans un escalier et au cours de laquelle l'un de nous trébuche. J'ai le souvenir d'avoir connu un tout début d'apprentissage de l'Anglais un peu délicat: je conseille vivement aux professeurs d'épeler les premiers mots qu'ils écrivent au tableau lors des toutes premières séances de cours. Comment deviner que « prénom » se traduit à l'écrit par « first name » au seul moyen de la phonétique?

Durant mes deux premières années de collège le professeur de Mathématiques nous demandait de réserver un cahier pour les notes de cours et un autre pour les exercices. Nous remplissions le premier par ce qu'il dictait: il semble que c'était son habitude, et cela n'était pas à mon désavantage. Dans ce qui suit je montre sur quelques figures plusieurs extraits scannés des

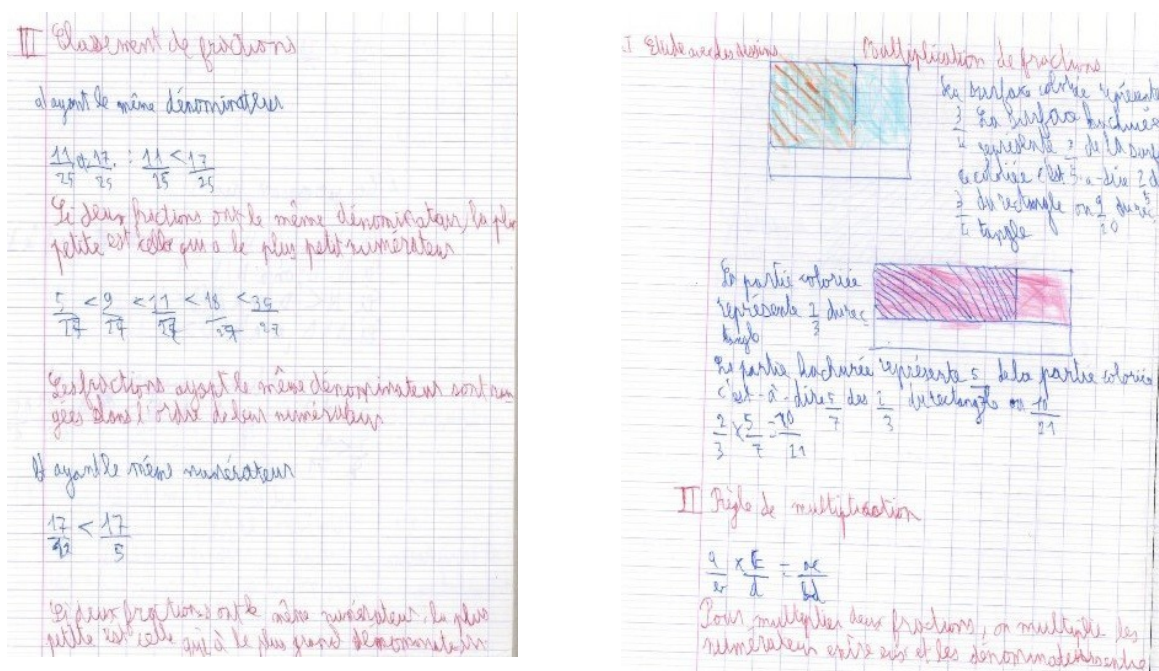


Figure 1: un aperçu du cours sur les fractions

cahiers de Cinquième, afin que les lecteurs puissent juger de ma manière d'écrire et de tracer les figures, avec comme seuls moyens de compensation une lampe et les outils de dessin acquis en primaire. On remarquera que j'ai souvent utilisé les carreaux de mon cahier comme repère orthonormé pour faciliter les tracés, bien que ce ne soit pas tout à fait dans l'esprit de la géométrie « à la règle et au compas ». J'imagine que de nombreux élèves agissent de même, et je ne me démarque pas d'eux en cela. On notera par ailleurs que le tracé de mes droites issus des sommets des triangles n'est pas excessivement précis, il est effectué au stylo bille, de manière sans doute à ne pas perdre trop de temps: il s'agissait surtout pour moi de représenter schématiquement la situation.

Dans les devoirs je faisais mes figures au crayon gris, comme c'était la consigne. J'avais compris plutôt rapidement comment former un cube depuis un patron. Cet aspect de géométrie dans l'espace,

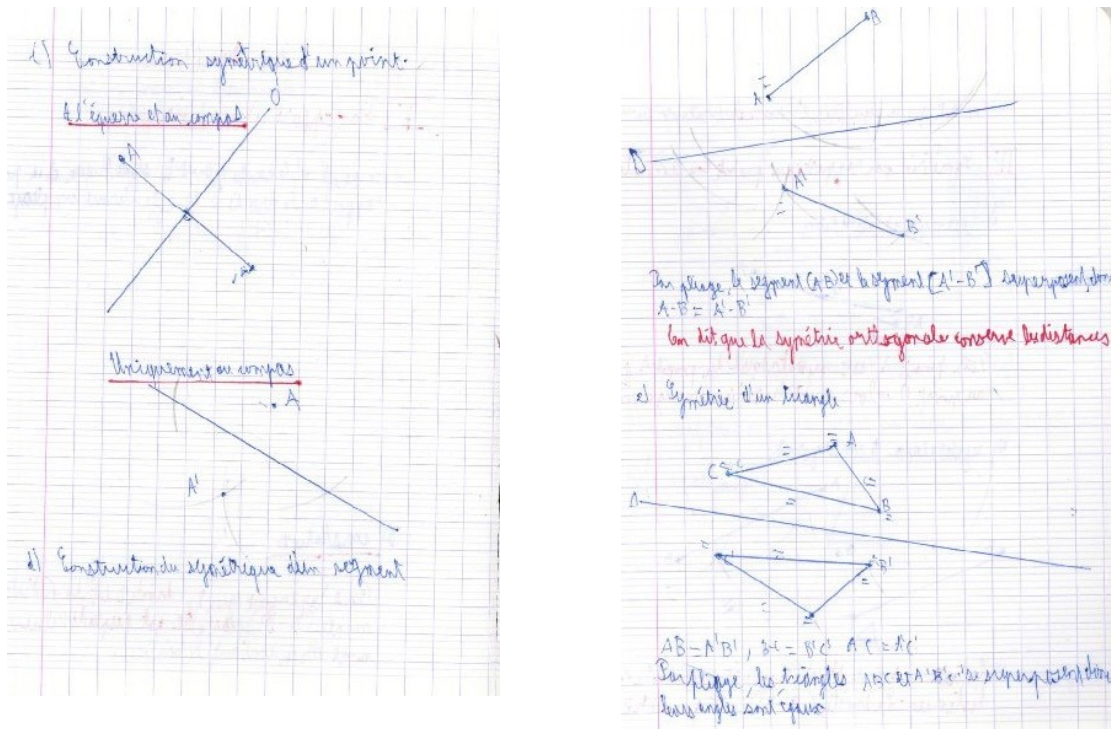


Figure 2: construction du symétrique d'objets par rapport à une droite

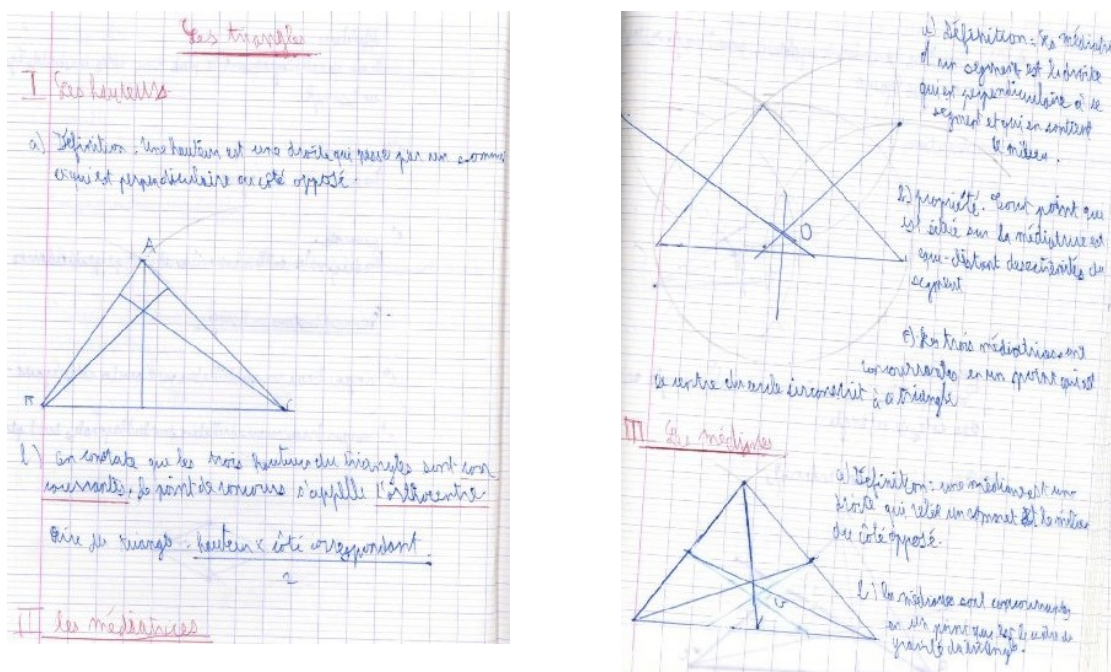


Figure 3: un aperçu du cours sur les triangles

comme beaucoup plus tard se représenter un tore par une surface plane aux conditions aux bords périodiques, ne m'a jamais mis dans l'embarras. Il n'en va pas de même d'autres exercices classiques comme déterminer géométriquement la droite à l'intersection de deux plans, où une bonne représentation du relief et de la perspective cavalière sont primordiales, me semble-t-il. J'ai également inclus deux extraits du cahier d'exercice où je montre mon aptitude à utiliser le rapporteur pour former un graphe à secteurs et que le recours abusif aux carreaux comme repère orthonormé peut être dangereux, conduisant à un exercice erroné.

Les deux dernières années de collège ont été marquées par l'apparition de nouvelles

disciplines: l'Allemand et le Latin en options, et la Physique-Chimie, que je chéris tant. Ma professeure de Mathématiques avait une manière différente d'enseigner de son prédécesseur. Elle se servait davantage du tableau pour aborder les notions du cours, en étant peu explicite sur le contenu

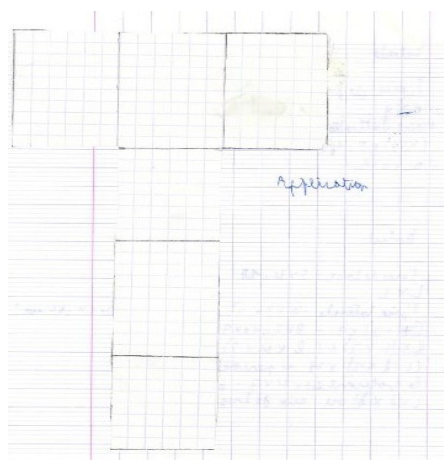


Figure 4: apprendre à construire un volume depuis un patron

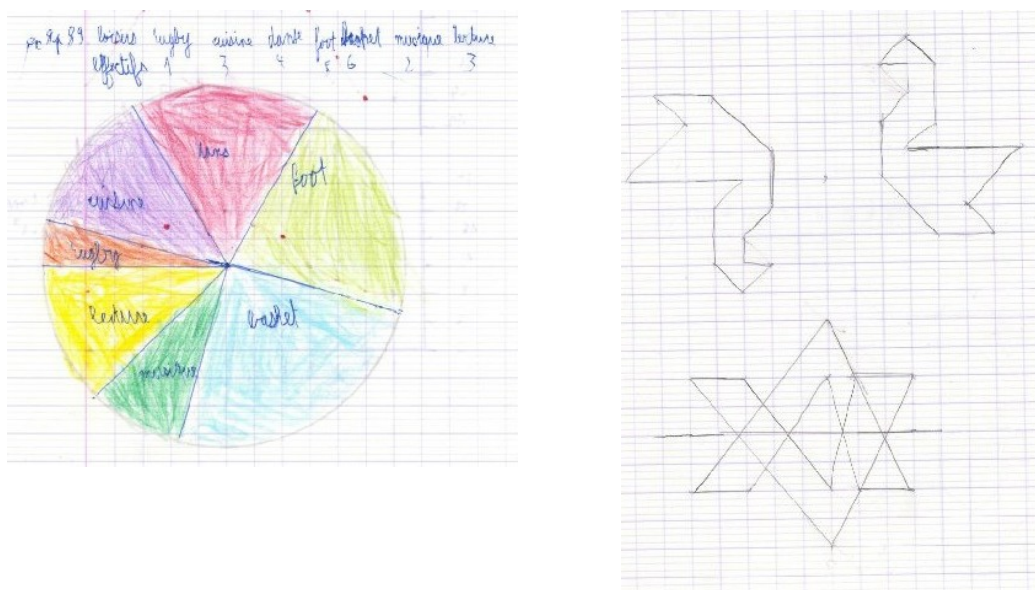


Figure 5: extraits du cahier d'exercice, illustrant le travail sur les fractions et sur les symétries (l'exercice sur la symétrie centrale est erroné)

de ce qu'elle y écrivait. Elle distribuait des polycopiés résumant les points importants à retenir, mais le fait d'être peu diserte ou trop rapide sur ce qu'elle montrait au tableau – je n'osais le lui faire remarquer même si j'en étais désespéré – s'est terminé en catastrophe. J'ai eu une note calamiteuse (la pire de toute ma scolarité en Mathématiques, 6/20) au premier devoir sur table, consacré à la factorisation d'expressions développées: je n'avais strictement rien compris à ce qu'il fallait faire (peut-être que nous manquions d'exercice, je ne me souviens pas). A la fin de l'heure où elle a rendu les copies, elle est venue me voir pour discuter de ce qui n'allait pas: en effet cela ne cadrait pas du tout avec les aptitudes que j'avais montrées les années précédentes et elle s'en était émue auprès de mon père, un de ses collègues, reconnaissant qu'il devait y avoir un problème. Elle m'a réexpliqué la procédure de factorisation à l'aide d'exemples se déroulant devant mes yeux, comme elle avait fait auparavant devant toute la classe, et je disposais donc d'un support que j'allais réétudier. Je lui ai

alors avoué que sa façon de présenter les choses au tableau me convenait difficilement et nous nous sommes mis d'accord sur le fait qu'elle viendrait me voir régulièrement pendant les séances pour redessiner ou réécrire sur un papier ce qui apparaissait au tableau. Visiblement elle n'était pas prête à changer, même légèrement, sa méthode de transmission des connaissances et je me suis résolu à ce modus vivendi: j'aurais nettement préféré pouvoir prendre mon cours seul, en utilisant mes

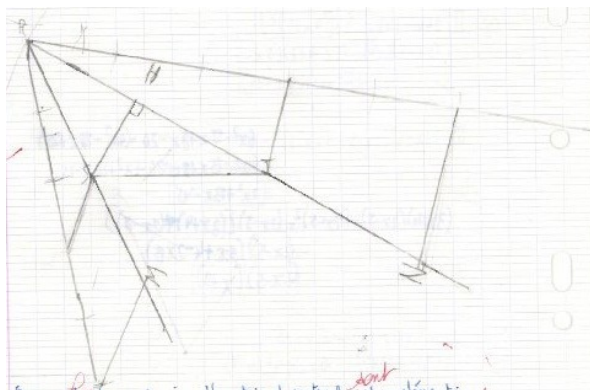


Figure 6: extrait d'un devoir sur table de Troisième, où il fallait construire des triangles homothétiques

capacités, sans faire appel à ce subterfuge qui me rappelait trop crûment mes faiblesses. Toutefois dès ce moment mon assimilation des notions nouvelles s'est améliorée et j'ai retrouvé mon niveau des années précédentes en terme de résultats trimestriels. Cela constitue le deuxième cas où une adaptation de la méthode d'enseignement s'est avérée nécessaire et j'en ai tiré pleinement profit. Nous nous approchons du Brevet et nous avons quelques figures géométriques à tracer: je montre sur une figure ci-dessus un extrait de devoir de Troisième où on peut voir comment j'y parvenais avec comme seuls moyens de compensation une lampe et un plan incliné en bois ayant deux butées pour retenir les feuilles de papier posées dessus et empêcher le plan de glisser sur la table. Ce plan avait été fabriqué pour éviter que je me fatigue trop le dos en me penchant sur mes cahiers.

L'arrivée au lycée constitue un moment important: nous sortons petit à petit de l'enfance insouciante et les questions concernant l'avenir commencent à émerger de la brume. Les professeurs que nous rencontrons ne sont généralement pas davantage préparés que ceux du collège à recevoir des personnes comme moi, mais nous, nous sommes prêts à faire les efforts exigés. Nous avons déjà eu des épreuves sur table en temps limité, nous savons donc ce que gérer le temps d'examen signifie; il se peut que nous nous soyons perfectionnés en prise de notes durant les années de collège, par exemple grâce à quelque professeur d'Histoire-Géographie faisant don à ses classes de Quatrième-Troisième de la rhétorique qu'il pratiquait dans l'hémicycle de conseillers territoriaux où il siégeait. Nous avons donc accumulé de la confiance en nos possibilités et nous ne demandons qu'à en faire davantage. Nous sommes plus autonomes par rapport au tracé des schémas de montage en Physique-Chimie: en Troisième j'attendais avec un peu de tristesse que le professeur vienne dessiner sur mon cahier ce qui se trouvait au tableau – il restait malheureusement muet pendant ces instants – tandis qu'au lycée je demandais à mon voisin de me prêter sa copie comme modèle. Ainsi le professeur n'était pas conscient du problème que je rencontrais et ma présence, ou plutôt ma spécificité, ne se faisait pas remarquer. La gestion des binômes de travaux pratiques nous est plus aisée: nous savons qu'il faut lier connaissance le plus rapidement possible avec un camarade qui puisse accepter qu'on partage les tâches: à lui la majeure partie du montage expérimental – nous pouvons bien sûr l'aider en maintenant stabilisé si nécessaire l'un des éléments du montage - à nous l'essentiel de la rédaction du compte-rendu, et aux deux les observations et l'interprétation à en donner: ce dernier point est crucial car il serait désastreux que nous restions passifs dans cette forme d'acquisition de connaissances. Mes professeurs de Mathématiques du lycée ont peu utilisé le tableau pour aborder les notions du cours: ils se contentaient de photocopiés sur lesquels nous écrivions les morceaux de phrases ou les expressions analytiques les plus importantes, après avoir

travaillé sur des exercices d'introduction. Je n'ai jamais été envoyé au tableau réaliser les exercices; je ne le demandais pas (j'écrivais très mal sur les surfaces veleda) mais je pense qu'aménager la participation serait volontiers accepté, par exemple en faisant muer en secrétaire le professeur ou, si celui-ci se sent gêné par rapport à son autorité, un autre élève. A l'instar semble-t-il de toute une génération de lycéens du milieu des années 1990 j'ai connu un début de Première S compliqué: la différence de niveau par rapport à la Seconde était vraiment élevée. J'étais dépassé par les événements et ai bien cru avoir atteint brutalement mes limites en Mathématiques; en tout cas je n'ai jamais invoqué mon handicap comme excuse, car j'avais pu augmenter mon rythme de travail dans les autres disciplines scientifiques comme la Physique-Chimie. Par la suite cela s'est nettement amélioré jusqu'en Terminale où j'ai repris confiance en moi; je ne saurais distinguer la part venant de mon surcroît de travail pour absolument réémerger de celle venant du programme moins exigeant dans sa progression. J'ai même eu l'honneur d'être inscrit à l'épreuve de Mathématiques du Concours Général par ma professeure, qui m'a appris pendant deux ans à tirer la quintessence de mes capacités dans cette discipline: j'en ai récolté de beaux fruits plus tard. J'ai également eu le bonheur de participer à l'épreuve de Physique de ce Concours, j'y ai fait connaissance avec les rudiments de Mécanique Quantique et ses fascinantes fonctions d'onde. Ayant bénéficié d'une greffe de cornée au début de la Seconde, remplaçant en quelque sorte un bout de pare-brise défectueux par un morceau neuf et transparent, je n'avais plus besoin de lampe en classe; je me contentais de profiter du maximum de lumière extérieure possible. A la maison je pouvais lire plus confortablement les journaux: au lieu de tenir à la main une lampe-torche, un lustre de plafond me suffisait. A la fin de la Seconde, j'ai également renoncé à mes plans inclinés: j'avais beaucoup grandi et leur ergonomie n'était plus adaptée. C'était une manière supplémentaire, bien dérisoire, de tenter de passer inaperçu au milieu des autres élèves. Afin que le lecteur puisse juger de la manière dont influençait ou non ma spécificité physiologique sur mon travail en fin de lycée, je montre sur deux

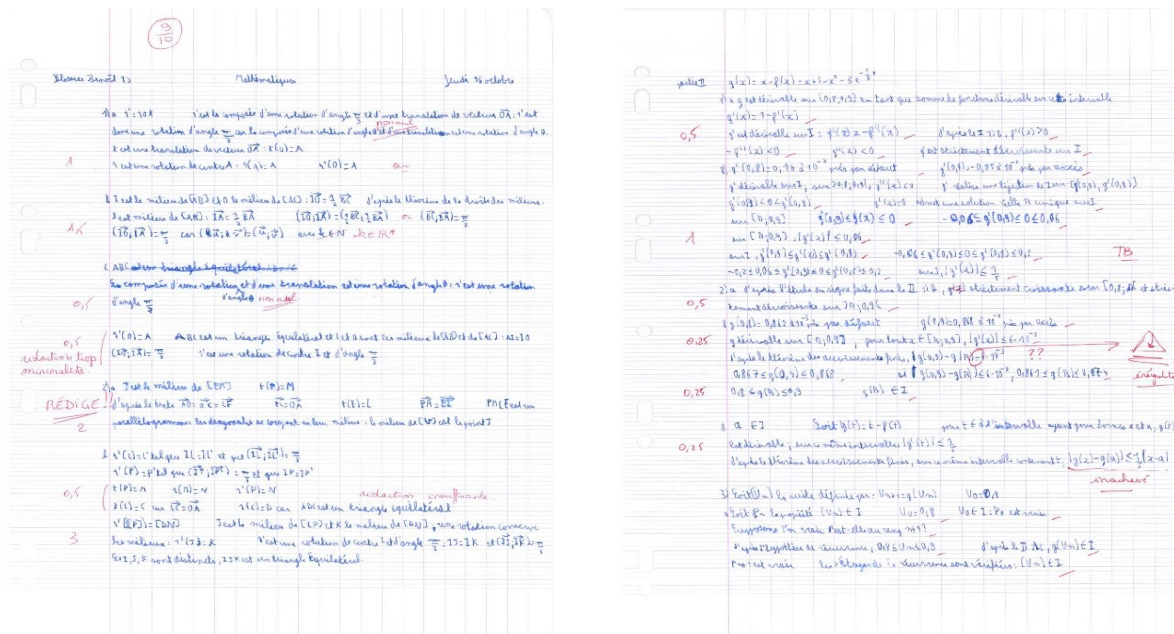


Figure 7: (gauche) extrait d'un devoir de Spécialité Mathématiques dans lequel mon manque de rédaction se faisait remarquer; (droite) extrait d'un examen blanc de Baccalauréat rédigé alors que deux heures trente de travail s'étaient déjà écoulées

figures un extrait d'un devoir sur table de Spécialité Mathématiques et 3 extraits d'un examen blanc de Baccalauréat. On se rendra compte que j'étais parfois adepte de l'effort minimal d'écriture, ce qui se traduit par plusieurs commentaires similaires faits sur ma copie concernant mon manque de rédaction. Il semble que la tendance à insister sur cet aspect du travail se soit atténuée récemment parce que cela détournerait les élèves des études scientifiques: faire de la rédaction pour la rédaction est effectivement inutile mais une formation insuffisante au lycée par rapport à la méthodologie, qui

me paraît bien plus importante que la « rédaction » proprement dite, risquerait de s'avérer pénalisante par la suite; habitué à une sorte de paresse intellectuelle, on pourrait par exemple se hasarder à calculer numériquement une intégrale le long d'un chemin tortueux dans l'espace complexe sans se préoccuper un instant de la présence éventuelle de coupures – alors que certains logiciels de calcul utilisés par les chercheurs et ingénieurs ne le font pas à leur place. Le premier extrait de l'examen blanc de Baccalauréat montre que je parvenais à maintenir mon application après plus de deux heures trente d'effort avec une écriture, de mon point de vue, relativement égale; cependant je reconnais que je n'ai jamais osé demander à mes professeurs s'ils passaient plus de temps sur ma copie que sur celles de mes camarades à déchiffrer mes petits caractères écrits en attaché. Les deux derniers extraits concernent des représentations graphiques qu'il fallait effectuer: elles étaient incomplètes (foyers de l'hyperbole et tangente à une courbe au point d'abscisse 0

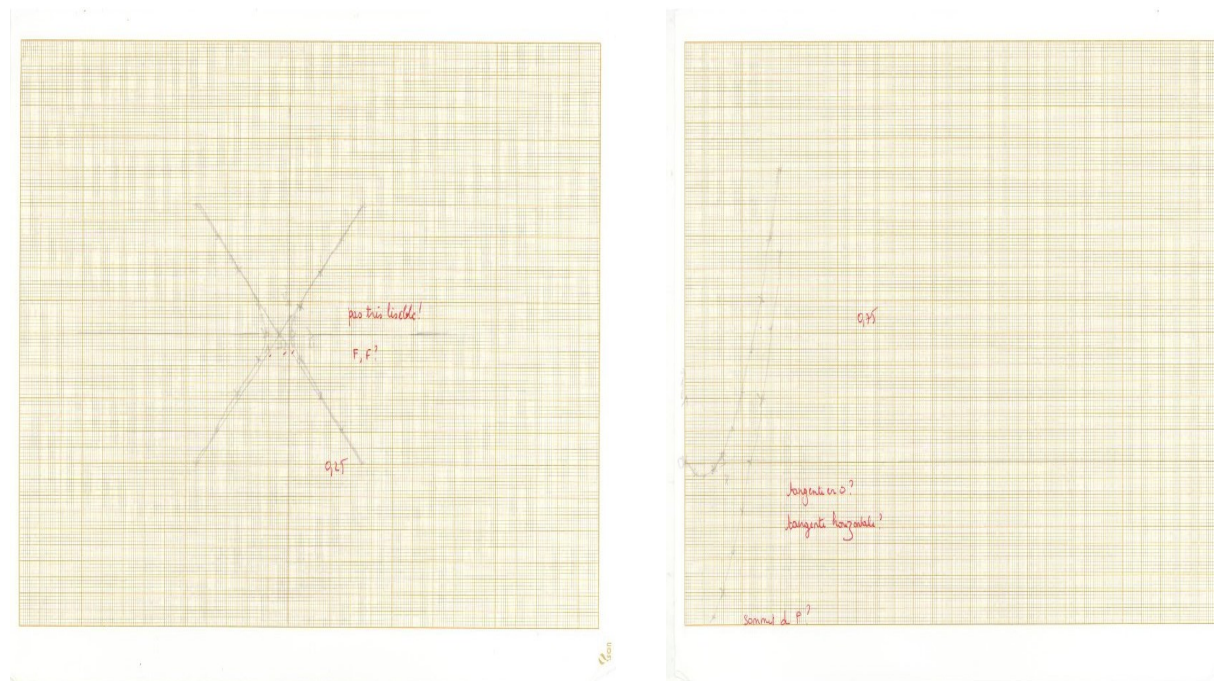


Figure 8: (gauche) représentation graphique d'une hyperbole et ses asymptotes obliques, où il manque les foyers exigés dans le sujet, alors que leurs coordonnées m'étaient connues; (droite) représentation graphique de deux fonctions où j'ai oublié de tracer la tangente à l'une d'entre elles au point d'abscisse 0 comme c'était demandé dans le sujet, ayant pourtant déterminé par ailleurs la valeur de la fonction et de sa dérivée en ce point

oubliés, alors que c'était exigé dans le sujet et que j'avais bien écrit les coordonnées des foyers et correctement déterminé les caractéristiques de la fonction en 0 dans d'autres questions), je mettais peu de soin à joindre les points, bref mon temps était géré de telle sorte que ces questions n'étaient pas du tout prioritaires, je ne m'offusquais pas de perdre quelques quarts de point ici si j'en gagnais ailleurs. Quand les copies étaient rendues je ne regardais même pas l'appréciation de ce travail.

Affirmer ne rien attendre des équipes pédagogiques du lycée face à notre situation de handicap serait une erreur. J'étais certes parvenu à être autonome dans le quotidien des cours, et c'était le plus important. Restait l'aspect angoissant de mon futur: est-ce que je réussirais à poursuivre ma scolarité jusqu'au Baccalauréat scientifique? Qu'advierait-il ensuite? Je dois avouer que le premier contact avec notre professeure principale en Première a été de ce point de vue décevant. Elle a fait l'appel, égrenant à chaque fois les options choisies par les élèves pour s'assurer que ce qui était inscrit administrativement était correct, et nous a rapidement délivré le message de circonstance. J'étais le seul élève à n'avoir pas mentionné l'option « Science Expérimentale », j'ignorais en fait que c'était une de ces options qui n'ont d'optionnel que leur nom. J'imagine aisément qu'elle a mémorisé mon allure quand elle a appelé mon nom, mais elle n'a cependant pas

daigné venir discuter avec moi à la fin de l'heure, ne serait-ce qu'une ou deux minutes, ni même dans les semaines suivantes à la fin de ses heures d'enseignement. Une explication sur cette option (que j'ai finalement suivie et qui m'a beaucoup intéressé), un ersatz d'encouragement, aussi atténué que possible afin de ne surtout pas me différencier à ses yeux davantage des autres élèves, ou au moins une invitation à ne pas hésiter à aller trouver les professeurs à la fin des séances si quelque chose posait problème, tandis que je m'engageais dans un parcours forcément plus difficile que ce que j'avais connu jusqu'alors, auraient été appréciés à leur juste valeur; j'aurais évidemment tout tenté pour masquer mes difficultés pratiques, mais j'aurais été sensible à la démarche. Je ne la blâme pas, elle ignorait tout de mon histoire personnelle, et mes bons résultats scolaires n'ont pas du tout incité l'équipe pédagogique à s'inquiéter de quoi que ce soit; toutefois je gardais en mémoire la forme de détresse ressentie par mes petits compagnons déficients visuels (ou par moi envers eux) dans leur classe d'accueil: il pouvait m'arriver la même chose, par exemple à la suite du rejet de ma greffe, la chute aurait été brutale. Il en a résulté un sentiment de frustration face à cette réaction d'indifférence, ou interprétée comme telle. L'année d'après, mon choix en terme d'orientation était arrêté: j'avais décidé, seul ou du moins en concertation avec ma famille, de poursuivre des études scientifiques à l'Université. Plusieurs raisons m'ont fait renoncer à demander mon intégration dans une Classe Préparatoire alors que mon niveau scolaire m'y autorisait: mon handicap en a été une, mais pas la principale. Cette décision était mûrement réfléchie, si bien qu'en milieu de deuxième trimestre de Terminale je n'ai pas rempli le formulaire qui nous avait été distribué et où nous devons notifier nos premiers souhaits d'orientation. Je me disais que cela ne servait à rien de le faire: notre professeure principale n'ayant pas su comment s'y prendre avec moi en tout début de Première, je ne concevais pas en quoi elle aurait pu m'apporter à ce moment-là quelque chose sur ce point. Je me suis tenu à la même réserve jusqu'à la fin de la Terminale; je pouvais dans un certain sens me le permettre, étant bien informé des filières possibles et ayant déjà en tête un projet d'étude au-delà du premier cycle universitaire. J'ai tout de même répondu par la négative quand, à quelques semaines du Baccalauréat, elle m'a demandé de vive voix si j'envisageais de remplir une demande d'admission en Classe Préparatoire: je lui ai précisé mes motivations pour ne pas le faire et elle a reconnu qu'elles étaient cohérentes.

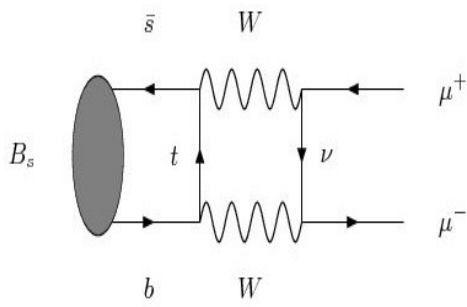
En conclusion de cette section je pense que l'intégration des enfants déficients visuels dans le secondaire doit bien se passer. Il faut veiller à utiliser parcimonieusement le tableau en collège pour les notes de cours, ou alors être explicite dans ce qu'on écrit ou dessine. Si cela ne suffit pas, venir à la table de l'élève pour lui fournir un support matériel sur lequel il puisse s'appuyer est précieux. Il faudrait s'habituer à décrire précisément les schémas ou les figures géométriques que l'on est en train de tracer: c'est une manière très élégante de permettre au déficient visuel de se sentir moins marginalisé. En lycée établir dès que possible une relation de confiance entre l'élève et les membres importants de l'équipe pédagogique est bienvenu, bien qu'au final cela ne soit pas non plus une condition sine qua non par rapport à la réussite scolaire.

A l'Université

Je serai plus bref dans l'exposé de cette partie de ma scolarité parce que les remarques que je vais formuler intéresseront certainement un nombre marginal de lecteurs. On sait bien qu'à l'Université les étudiants sont livrés à eux-mêmes et que les heures de cours se partagent entre cours magistraux, séances de travaux dirigés et de travaux pratiques. Dans ce dernier cas il faut procéder comme au lycée pour se trouver un compagnon de binôme approprié, cela est à la fois plus facile et plus difficile. Nous sommes entre (jeunes) adultes et les spécificités peuvent être mieux acceptées par nos condisciples; malheureusement une forme de honte d'être tels que nous sommes nous inhibe, en tout cas c'est ce que j'ai ressenti. Par chance j'ai trouvé pour les travaux pratiques de Physique un bon camarade de binôme pendant mes études de premier cycle et nous nous sommes très bien entendus. Je n'ai eu qu'une seule séance de travaux pratiques de Chimie pendant laquelle nous devons manipuler des produits un peu dangereux et où j'avais quelqu'un d'autre que ce camarade à mes côtés; cela n'a pas représenté le moment le plus agréable mais j'ai fait ce que je

pouvais et je suis passé à autre chose. Le problème majeur des cours magistraux est bien entendu la prise de notes: je ne voyais pas au tableau et ma longue-vue était inutilisable dans les amphithéâtres. J'écrivais donc tout à l'oreille; c'est une habitude à prendre, il faut être capable de mémoriser pendant une dizaine de secondes les paroles prononcées par le professeur, tout en écrivant la ligne de calcul précédente. En fait nous faisons trois choses simultanément: écrire la ligne, effectuer le calcul pour se préparer à l'écriture de la ligne suivante et écouter pour savoir si ce qu'on pense devoir écrire est effectivement ce qu'il faut écrire. Si on se surprend à ne pas entendre ce à quoi on s'attend, on va s'arrêter quelques instants sur la ligne que l'on vient d'écrire – autrement dit, on va refaire le calcul en se concentrant davantage – et on perd le fil du cours: le professeur en est déjà à la ligne $l+2$ quand nous en sommes encore à la ligne l . Ceci est valable en Mathématiques comme en Physique, évidemment. On peut éventuellement demander à la fin de la séance les notes prises par un camarade pour remplir les espaces blancs que l'on a laissés mais le nombre de fois qu'on le fait indique soit qu'on ne peut pas suivre, soit que le professeur est brouillon: cela arrive plus souvent qu'on ne le croit. J'ai connu des professeurs qui allaient très vite, même pour des cours de haut niveau d'abstraction, mais la prise de notes était un plaisir car l'enchaînement des lignes de calcul était clair. Ces difficultés à prendre correctement les notes de cours constituent sans doute un obstacle non négligeable pour l'intégration des déficients visuels dans le Supérieur. Je recommanderais aux professeurs de proposer au début des semestres de la bibliographie, voire des notes de cours écrites proprement, c'est à dire calligraphiées: fournir de la bibliographie est courant au deuxième cycle, beaucoup moins au premier, qui est incontestablement le parent pauvre de l'Enseignement Supérieur en France. On pourrait alors se poser la question de l'intérêt des cours magistraux: je pense toutefois que c'est utile de faire soi-même les calculs au moins à une reprise sur un manuscrit, ne faire que de la lecture passive du cours finit à un moment donné par être contre-productif. Les séances de travaux dirigés, en Mathématiques comme en Physique, ne posent pas a priori de problèmes majeurs quant à la prise de notes: il suffit d'avoir préparé à l'avance la séance, avoir réfléchi sur le sujet et essayé de traiter le maximum de questions posées, comme n'importe quel autre étudiant devrait dans l'idéal le faire. J'ai été à plusieurs reprises désigné pour aller au tableau réaliser un exercice, chaque étudiant étant envoyé à tour de rôle. J'étais prêt à y aller, d'autant plus que nous avions des tableaux à craie, ce qui me convenait. Tout comme à la fin des études au lycée je n'avais plus aucun moyen de compensation du handicap.

Mes très bons résultats aux examens de DEUG m'ont permis d'intégrer l'Ecole Normale Supérieure de Paris comme élève magistérien en Physique. Le dossier de candidature exigeait deux lettres de recommandation; dans l'une d'entre elles un professeur a mentionné mon handicap, tout en insistant sur le fait que cela n'atténuait en rien mon enthousiasme et mes capacités à faire des études de Physique de haut niveau. Je ne me souviens pas que nous ayons discuté ce point quand je suis allé le voir dans son bureau afin de lui exposer mon projet, mais je peux me tromper. Après lecture de la lettre, qui était ouverte, je me suis dit que c'était peut-être mieux comme cela, et je n'ai alors pas caché ce fait dans ma propre lettre de motivations. Lors de l'entrevue avec le directeur du magistère de Physique à l'ENS, il en a été brièvement question: il m'a dit qu'à ses yeux mon handicap n'était pas du tout un obstacle à mon intégration dans l'Ecole et qu'il pensait au vu de mon dossier universitaire que je pourrais m'en sortir aussi bien que les autres étudiants. Il s'est arrangé de me joindre un compagnon de binôme approprié pour les quelques séances de travaux pratiques du début de Licence, c'était fait avec tact et cela s'est avéré fructueux pour nous deux. Cela montrait que je pouvais compter sur ce professeur, au cas où un imprévu se produirait. Là encore la prise de notes des cours magistraux pouvait être délicate, d'autant plus que, les semestres passant, je commençais à suivre des enseignements vraiment difficiles, très formels, conduisant à me spécialiser en Physique Théorique. Par exemple, mes débuts avec les diagrammes de Feynman, ces graphes représentant très visuellement des processus entre Particules Élémentaires ou (pour faire vite) les termes de l'intégrale fonctionnelle génératrice des moments d'une distribution de probabilité en Théorie Statistique des Champs, ont été chaotiques. Je devais consulter les notes de cours de mes voisins pour comprendre de quoi il retournait. Puis j'ai pris l'habitude de les manipuler, sachant alors reproduire sur papier ce que le professeur montrait au tableau et faire les



$f_{ij} = f_{ji} \quad \nabla_\mu g_{ij} = 0 \quad \partial_\mu g_{ij} = -\Gamma_{ij\mu} = -\Gamma_{\mu ij} \quad \partial_\mu g_{ij} + \Gamma_{ij\mu} = 0 \Rightarrow \Gamma_{ij\mu} = \frac{1}{2} g^{kl} (\partial_\mu g_{kj} + \partial_\mu g_{li} - \partial_\mu g_{kl})$

condition géométrique: $\partial_\mu \nabla_\nu x^i = 0$

$T_\mu = T_\nu$ *l'énergie est la divergence spatiale qui généralisée est la loi de conservation de l'énergie*

$\epsilon_{\alpha\beta\gamma\delta} = \epsilon_{ijkl} \text{ A la } g_{ij} \text{ (indépendant de la vitesse)}, \text{ AS en fait } \epsilon_{ijkl} \text{ en } (g_{ij}(t, \mathbf{x}))$

pour la métrique de Schwarzschild: $\partial_\mu g_{ij} = \delta_{ij} \dot{\gamma}$ et $\Gamma_{ij\mu} = \delta_{ij} \dot{\gamma} \delta_{\mu 0}$

$\nabla_\mu \partial_\nu f = \partial_\mu \partial_\nu f - \Gamma_{ij\mu} \partial_\nu f = (\partial_\nu \partial_\mu f - \Gamma_{ij\mu} \partial_\nu f) = 0$

$(\partial_\nu \partial_\mu - \nabla_\mu \nabla_\nu) x^i = R_{\mu\nu} x^i$

Remarque: Ricci = $R_{\mu\nu}$ = trace symétrique

Figure 9: (gauche) exemple de diagramme de Feynman, représentant un des processus autorisés par le Modèle Standard (MS) de la Physique des Particules pour la transition rare $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$ mesurée à LHCb, l'un des détecteurs installés autour du collisionneur LHC du CERN, pour mettre en évidence de la Nouvelle Physique via des particules exotiques circulant dans la boucle quantique et apportant ainsi une contribution supplémentaire par rapport à l'amplitude de transition connue dans le MS; (droite) extrait d'un cours de Relativité Générale, où la notion d'indices covariants et contravariants est fondamentale pour appréhender la géométrie non Euclidienne qui décrit notre espace-temps

QED, étude de la diffusion Compton

changements de référentiel $\psi(x) = \int d^3k a(\mathbf{k}) e^{-i\mathbf{k}\cdot\mathbf{x} + i\omega t}$ $\psi'(x') = \int d^3k' a'(\mathbf{k}') e^{-i\mathbf{k}'\cdot\mathbf{x}' + i\omega' t'}$

onde normale au référentiel: $\mathbf{k}' = \gamma(\mathbf{k} - v \hat{\mathbf{x}}) + \gamma v \omega \hat{\mathbf{x}}$ $\omega' = \gamma(\omega - v k_x)$

$a(\mathbf{k}') e^{-i\mathbf{k}'\cdot\mathbf{x}'} = a(\mathbf{k}) e^{-i\mathbf{k}\cdot\mathbf{x}}$

$a(\mathbf{k}') = \gamma [a(\mathbf{k}) + \frac{v}{c} k_x a(\mathbf{k})]$

$\Gamma(\mathbf{k}', \omega') = \gamma [\Gamma(\mathbf{k}, \omega) + \frac{v}{c} k_x \Gamma(\mathbf{k}, \omega)]$

$\Gamma(\mathbf{k}, \omega) = \frac{1}{\omega} \langle \psi | \mathbf{k} | \psi \rangle = \frac{1}{\omega} \int d^3x \psi^* \mathbf{k} \psi = \frac{1}{\omega} \int d^3x \psi^* \int d^3k' a'(\mathbf{k}') e^{-i\mathbf{k}'\cdot\mathbf{x} + i\omega' t} \mathbf{k} \int d^3k a(\mathbf{k}) e^{-i\mathbf{k}\cdot\mathbf{x} + i\omega t}$

$\Gamma(\mathbf{k}, \omega) = \frac{1}{\omega} \int d^3x \int d^3k' a'(\mathbf{k}') e^{-i\mathbf{k}'\cdot\mathbf{x} + i\omega' t} \mathbf{k} \int d^3k a(\mathbf{k}) e^{-i\mathbf{k}\cdot\mathbf{x} + i\omega t}$

$\Gamma(\mathbf{k}', \omega') = \frac{1}{\omega'} \int d^3x' \int d^3k' a'(\mathbf{k}') e^{-i\mathbf{k}'\cdot\mathbf{x}' + i\omega' t'} \mathbf{k}' \int d^3k a(\mathbf{k}) e^{-i\mathbf{k}\cdot\mathbf{x} + i\omega t}$

$\Gamma(\mathbf{k}, \omega) = \frac{1}{\omega} \int d^3x \int d^3k' a'(\mathbf{k}') e^{-i\mathbf{k}'\cdot\mathbf{x} + i\omega' t} \mathbf{k} \int d^3k a(\mathbf{k}) e^{-i\mathbf{k}\cdot\mathbf{x} + i\omega t}$

$\Gamma(\mathbf{k}, \omega) = \frac{1}{\omega} \int d^3x \int d^3k' a'(\mathbf{k}') e^{-i\mathbf{k}'\cdot\mathbf{x} + i\omega' t} \mathbf{k} \int d^3k a(\mathbf{k}) e^{-i\mathbf{k}\cdot\mathbf{x} + i\omega t}$

$\Gamma(\mathbf{k}, \omega) = \frac{1}{\omega} \int d^3x \int d^3k' a'(\mathbf{k}') e^{-i\mathbf{k}'\cdot\mathbf{x} + i\omega' t} \mathbf{k} \int d^3k a(\mathbf{k}) e^{-i\mathbf{k}\cdot\mathbf{x} + i\omega t}$

$\Gamma(\mathbf{k}, \omega) = \frac{1}{\omega} \int d^3x \int d^3k' a'(\mathbf{k}') e^{-i\mathbf{k}'\cdot\mathbf{x} + i\omega' t} \mathbf{k} \int d^3k a(\mathbf{k}) e^{-i\mathbf{k}\cdot\mathbf{x} + i\omega t}$

$\Gamma(\mathbf{k}, \omega) = \frac{1}{\omega} \int d^3x \int d^3k' a'(\mathbf{k}') e^{-i\mathbf{k}'\cdot\mathbf{x} + i\omega' t} \mathbf{k} \int d^3k a(\mathbf{k}) e^{-i\mathbf{k}\cdot\mathbf{x} + i\omega t}$

$\mathbf{k}' = \gamma(\mathbf{k} - v \hat{\mathbf{x}}) + \gamma v \omega \hat{\mathbf{x}}$ $\omega' = \gamma(\omega - v k_x)$

$\frac{d^3k'}{d^3k} = \gamma^3 (1 - \frac{v}{c} k_x)$

$\frac{d^3x'}{d^3x} = \gamma (1 - \frac{v}{c} k_x)$

$\frac{d^4x'}{d^4x} = \frac{d^3x'}{d^3x} \frac{dt'}{dt} = \gamma^2 (1 - \frac{v}{c} k_x)$

$\Gamma(\mathbf{k}, \omega) = \frac{1}{\omega} \int d^3x \int d^3k' a'(\mathbf{k}') e^{-i\mathbf{k}'\cdot\mathbf{x} + i\omega' t} \mathbf{k} \int d^3k a(\mathbf{k}) e^{-i\mathbf{k}\cdot\mathbf{x} + i\omega t}$

$\Gamma(\mathbf{k}, \omega) = \frac{1}{\omega} \int d^3x \int d^3k' a'(\mathbf{k}') e^{-i\mathbf{k}'\cdot\mathbf{x} + i\omega' t} \mathbf{k} \int d^3k a(\mathbf{k}) e^{-i\mathbf{k}\cdot\mathbf{x} + i\omega t}$

$\Gamma(\mathbf{k}, \omega) = \frac{1}{\omega} \int d^3x \int d^3k' a'(\mathbf{k}') e^{-i\mathbf{k}'\cdot\mathbf{x} + i\omega' t} \mathbf{k} \int d^3k a(\mathbf{k}) e^{-i\mathbf{k}\cdot\mathbf{x} + i\omega t}$

$\Gamma(\mathbf{k}, \omega) = \frac{1}{\omega} \int d^3x \int d^3k' a'(\mathbf{k}') e^{-i\mathbf{k}'\cdot\mathbf{x} + i\omega' t} \mathbf{k} \int d^3k a(\mathbf{k}) e^{-i\mathbf{k}\cdot\mathbf{x} + i\omega t}$

$\Gamma(\mathbf{k}, \omega) = \frac{1}{\omega} \int d^3x \int d^3k' a'(\mathbf{k}') e^{-i\mathbf{k}'\cdot\mathbf{x} + i\omega' t} \mathbf{k} \int d^3k a(\mathbf{k}) e^{-i\mathbf{k}\cdot\mathbf{x} + i\omega t}$

$\Gamma(\mathbf{k}, \omega) = \frac{1}{\omega} \int d^3x \int d^3k' a'(\mathbf{k}') e^{-i\mathbf{k}'\cdot\mathbf{x} + i\omega' t} \mathbf{k} \int d^3k a(\mathbf{k}) e^{-i\mathbf{k}\cdot\mathbf{x} + i\omega t}$

$\Gamma(\mathbf{k}, \omega) = \frac{1}{\omega} \int d^3x \int d^3k' a'(\mathbf{k}') e^{-i\mathbf{k}'\cdot\mathbf{x} + i\omega' t} \mathbf{k} \int d^3k a(\mathbf{k}) e^{-i\mathbf{k}\cdot\mathbf{x} + i\omega t}$

$\Gamma(\mathbf{k}, \omega) = \frac{1}{\omega} \int d^3x \int d^3k' a'(\mathbf{k}') e^{-i\mathbf{k}'\cdot\mathbf{x} + i\omega' t} \mathbf{k} \int d^3k a(\mathbf{k}) e^{-i\mathbf{k}\cdot\mathbf{x} + i\omega t}$

$\Gamma(\mathbf{k}, \omega) = \frac{1}{\omega} \int d^3x \int d^3k' a'(\mathbf{k}') e^{-i\mathbf{k}'\cdot\mathbf{x} + i\omega' t} \mathbf{k} \int d^3k a(\mathbf{k}) e^{-i\mathbf{k}\cdot\mathbf{x} + i\omega t}$

$\Gamma(\mathbf{k}, \omega) = \frac{1}{\omega} \int d^3x \int d^3k' a'(\mathbf{k}') e^{-i\mathbf{k}'\cdot\mathbf{x} + i\omega' t} \mathbf{k} \int d^3k a(\mathbf{k}) e^{-i\mathbf{k}\cdot\mathbf{x} + i\omega t}$

Figure 10: extraits de cours de Théorie Quantique des Champs plus ou moins faciles à prendre, suivant la capacité du professeur à présenter clairement ce qu'il enseigne

calculs en même temps que lui. Je montre sur une figure un de ces diagrammes, qui font aujourd'hui partie de mon quotidien au laboratoire, ainsi qu'un extrait de mon cours de Relativité Générale où une bonne maîtrise des notations tensorielles est nécessaire. Sur une autre figure je montre un

extrait d'un cours de Théorie Quantique des Champs facile à prendre car le professeur était clair et un extrait d'un cours avancé de TQC où le professeur délivrant ce cours était plus brouillon, décousu, ce qui se traduit par le dessin de tous petits graphes de Feynman que je recopiais comme je le pouvais entre deux lignes de calcul en m'appuyant sur les notes de mon voisin.

En conclusion de cette section et de ce texte je dirais que l'intégration des déficients visuels dans le Supérieur est plus difficile; il faut sans doute avoir de bonnes capacités pour pouvoir prendre au vol ou à l'oreille les notes de cours, en particulier en effectuant rapidement le calcul d'une ligne afin de passer à la suivante sans encombre. Toutefois avec les moyens numériques modernes et les notes de cours calligraphiées il y a moyen de s'en sortir et de terminer honorablement ses études en vue d'avoir un métier dans lequel on se sente à l'aise. En ce qui me concerne cela consiste, pour simplifier, à travailler sur les dessins de graphes de Feynman dans le cadre de recherches en Physique des Particules Élémentaires, alors que j'ai commencé ma scolarité dans les années 1980 par apprendre le Braille.

Je souhaiterais vivement remercier les équipes pédagogiques de l'école de Fyé, de l'école Marceau du Mans, du collège Léo Delibes de Fresnay sur Sarthe, du lycée Paul Scarron de Sillé le Guillaume, de l'Université du Maine et de l'Ecole Normale Supérieure de Paris qui m'ont permis de suivre avec enthousiasme une scolarité quasi-normale au sein de leurs établissements, à une époque où les moyens d'intégration étaient encore peu développés. Je remercie également Nicole Pène (formatrice en Mathématiques) pour la relecture attentive du manuscrit et Agnès Duranthon (IA-IPR de Mathématiques) pour la discussion qu'elle m'a très aimablement accordée durant sa préparation.