

## TD « Freinet » en autonomie par fiches thématiques Présentation pour l'enseignant

Il s'agit de documents pour de la mise à niveau et des compléments en calcul, élaborés pour un premier semestre de DUT chimie. Chez moi les promotions comptent environ 90 étudiants, répartis en trois groupes de TD de 30 ; elles comportent une majorité de bacheliers généraux (S) et une minorité, d'importance variable selon les années, de bacheliers technologiques (STL). Ces documents peuvent probablement convenir, éventuellement adaptés, pour toute mise à niveau de mathématiques en filière technologique en sciences exactes. Ils ne représentent pas l'intégralité de mon TD, qui comporte aussi des exercices d'acquisition des notions nouvelles données par le cours — différentielle d'une application, formes différentielles *etc.*

Les besoins en mathématiques en IUT chimie, notamment ceux en techniques de calcul, sont extrêmement réduits. Les présentes fiches visent donc des mises au points basiques. Elles devraient sans doute être adaptées pour une utilisation dans certaines autres filières utilisant davantage d'outils mathématiques.

Je décris ci-dessous les deux grandes caractéristiques de mes documents. J'ajoute des remarques de détail et des informations techniques sur l'utilisation de LaTeX pour la production des documents. Je donne enfin les réponses des exercices balisés [RÉCRÉATION].

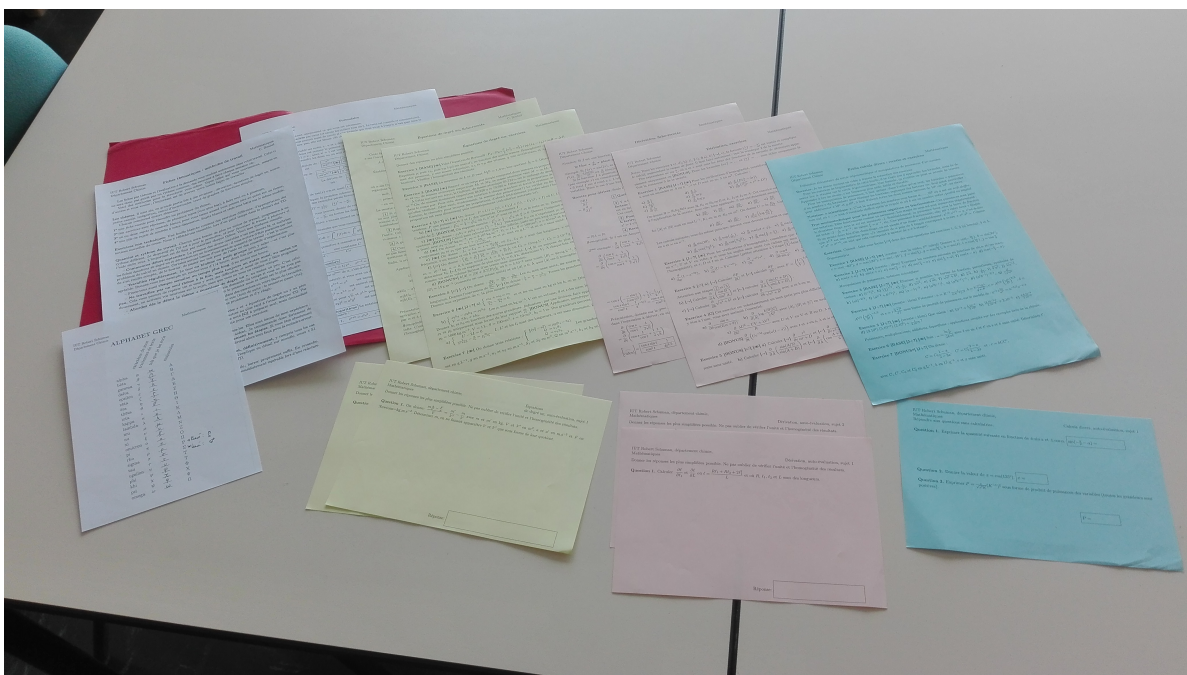


FIGURE 1 – Matériel distribué à chacun en début de semestre : fiche de présentation, formulaire, fiche de jeu de détection d'expressions (in)homogènes, alphabet grec et, sur trois thèmes : fiches-recettes, exercices et sujets d'entraînement (demi-feuilles). Les fiches des trois autres thèmes sont distribuées un peu plus tard.

### 1 Un TD de type « Freinet » donnant aux étudiants le plus d'autonomie possible

**Motivation.** J'étais depuis un certain temps insatisfait de mes TD :

- La grande hétérogénéité des niveaux des étudiants à l'arrivée était une gêne.
- Le cadre classique de travail favorisait l'inertie, notamment chez ceux qui auraient eu le plus besoin de travailler : attente de la solution qui finit par arriver au tableau, travail pas fait d'une séance sur l'autre *etc.* De mon côté, je m'épuisais à essayer d'aider les étudiants en difficulté, en plus de mener le TD. Plus globalement, j'avais envie de favoriser le gain d'autonomie par les étudiants.
- Les étudiants travaillaient peu à plusieurs, alors que par moments ça aurait pu leur être très bénéfique.

– Ils avaient peu de moyens de se rattraper et peu d'intérêt à comprendre leurs erreurs après un contrôle intermédiaire raté : on passait en effet alors à autre chose.

– Ce qui m'importe au 1er semestre est que les étudiants calculent juste, mais alors certains ont besoin de trois fois plus de temps que d'autres aux contrôles et cela crée un problème aux petites épreuves de contrôle continu pendant les TD. Je voulais évacuer la question du temps limité des contrôles.

J'ai alors construit des documents reprenant une part de la pédagogie Freinet : les étudiants travaillent de façon autonome, thème par thème, avec des fiches-recettes, des fiches d'exercices avec réponses et corrigés en vidéo, des sujets de contrôle blancs, et passent le contrôle de chaque thème individuellement, à la demande quand ils se sentent prêts, dans l'ordre qu'ils veulent sous réserve de quelques priorités imposées.

Un tel système se prête bien aux apprentissages techniques. Je l'ai donc appliqué à la mise à niveau et aux compléments en calcul et tracé de graphes de fonctions. J'ai gardé un fonctionnement plus classique pour l'acquisition des concepts nouveau du cours : différentielle d'une fonction, intégrale d'une différentielle *etc.*, qui ne peut se faire par fiches-recettes.

**Déroulement des séances.** Je ne connais la pédagogie Freinet que de principe. Je m'y suis pris de la façon suivante.

– J'explique le fonctionnement du TD lors d'une heure de cours en amphi, en m'appuyant sur la feuille *Présentation et méthodes de travail* et introduisant à cette occasion le formulaire et une des fiches-recette. J'y distribue le début des documents (sur les thèmes « équations de degré un », « dérivation » et « calculs divers » ; il est inutile de noyer les étudiants d'emblée avec toutes les fiches), voir photo. J'insiste sur le fait que les étudiants sont autonomes, le but étant d'avoir passé et réussi tous les contrôles thématiques à la fin du semestre, et que cela a des conséquences : je ne donnerai pas de rythme avec des exercices à faire, certains étudiants auront besoin de beaucoup travailler chez eux pour y arriver, d'autres assez peu ; tous peuvent travailler dès lors, sans même attendre le premier TD. J'évoque aussi les vidéos, sans quoi elles sont très peu visionnées ; j'explique leurs avantages : on peut ne consulter que celles dont on a besoin, quand on veut, les arrêter, les repasser si besoin, n'en regarder que la fraction qu'on veut *etc.* L'autonomie des étudiants me dégage aussi du temps pour ceux qui en ont le plus besoin : à eux de s'en rendre compte et de me solliciter, sans attendre. Le semestre passe très vite. Enfin j'insiste sur le travail à plusieurs, que facilite aussi cette méthode, et qui en est même un des objectifs. Travailler ensemble est plus agréable et plus efficace. De plus, les niveaux en maths étant différents, cela permet aux étudiants de s'aider entre eux, multipliant par beaucoup l'aide disponible pour ceux qui en ont besoin, par rapport à mon seul apport.

– Les documents de chaque thème sont tirés sur du papier de couleur spécifique. C'est indispensable pour s'y retrouver.

– Je laisse les étudiants se disposer comme ils le veulent dans la salle de TD : rester seuls ou regrouper des tables. Une grosse majorité se rassemble par groupes de trois à huit personnes.

– J'ai placé une interrogation spécifique sur le formulaire très tôt, pour tous ensemble au 2ème ou 3ème TD. J'en avais assez des erreurs dues à des formules non sues, persistant jusqu'au bout du semestre.

– Un classeur contenant une liste de présence et, perforés, les sujets des différents thèmes est à disposition. Quand un étudiant le désire, il prend le 1er sujet de la liasse du thème voulu ; il inscrit sur la liste, après son nom, le numéro de ce sujet et la date et se met dans un coin pour traiter le sujet ou, s'il n'y a plus de place à part, à sa place en vidant sa table de tout document. Quand il a terminé il place le sujet dans une pochette prévue pour cela dans le classeur. Une conséquence est que le temps de traitement d'un sujet n'est pas limité ; il peut aller de 6-7 min à 30 min selon les étudiants mais cela ne perturbe pas le fonctionnement du TD. Je corrige d'une séance sur l'autre les sujets qui ont été rendus. La triche est rare : se faire aider, chercher à prendre un sujet de numéro choisi plutôt que le premier qui vient *etc.*, mais elle existe ; une surveillance légère me permet de montrer que je garde un œil ouvert. Il faut également, en fin de TD, vérifier la concordance des sujets rendus avec ceux prélevés dans les liasses de sujets vierges et avec les inscriptions sur les listes, sans quoi des étudiants peuvent emporter des sujets et les rendre au TD suivant.

– En début de séance je laisse à disposition pour consultation les sujets corrigés de la séance précédente (voir le principe de la correction dans la feuille de présentation), mais je demande de me les rendre et les

conserve. Très vite une queue s'est formée pour des explications sur les erreurs. Je dis aux étudiants de travailler et de passer me voir à la table où je suis quand ils voient que je suis libre. Discuter avec les étudiants qui ont échoué permet de prendre un peu de recul ensemble sur ce qui ne va pas, sur le thème précis ou le travail en général ; ils y ont intérêt car ils peuvent repasser l'épreuve. En revanche, il me faut souvent lutter contre leur tentation de repasser immédiatement un contrôle : parfois c'est possible mais le plus souvent mieux vaut retravailler déjà ce qui n'était pas acquis.

- Je ne note pas les sujets, mais les valide si tout est juste, ou pas sinon. C'est délibéré, certains étudiants arrivent avec une peur des maths, j'élimine donc un temps les notes. Par ailleurs les sujets sont relativement faciles, en contrepartie j'estime qu'ils constituent un plancher devant être acquis. Enfin je peux être relativement indulgent dans la mise « en attente » d'épreuves comportant une ou deux erreurs vénielles, charge à l'étudiant de les trouver et corriger pour la validation. La (re)prise de confiance, psychologique, de certains étudiants est un objectif en soi.

Ensuite, je fabrique une note partir des contrôles validés ou pas, de telle sorte que les épreuves « équations de degré un » et « dérivation », qui sont prioritaires, doivent être validées pour atteindre la moyenne.

- Quand je suis appelé pour une question, je réponds presque toujours en renvoyant l'étudiant(e) aux autres : en avez-vous discuté avec d'autres ? Sinon faites-le, toujours en vous appuyant sur la recette (à quelle étape de celle-ci le problème se trouve-t-il ?), et si dans trois minutes le problème subsiste alors rappelez-moi. Trois fois sur quatre je en suis pas rappelé — mais parfois je passe tout de même me faire expliquer le dénouement. Enfin quand je réponds, je m'appuie toujours sur la fiche-recette, en me faisant d'abord expliquer par l'étudiant(e) comment il ou elle l'applique.

- Tous les étudiants en difficulté ne me sollicitent pas, ou pas à temps, loin de là. Je navigue donc dans la salle et observe comment chacun s'en sort.

- Les étudiants les plus avancés peuvent aider les autres et/ou faire les exercices supplémentaires un peu plus difficiles balisés **[BONUS]**.

- J'ai aussi testé un travail plus formel de groupe. J'avais prévu pour les quelques exercices balisés **[G]** ce travail : je demandais aux étudiants d'avoir préparé l'exercice et estimé leur difficulté à le faire. En séance je composais alors des groupes mélangeant cette difficulté de réalisation et leur annonçais je demanderais dans chaque groupe à un étudiant ayant déclaré avoir eu des difficultés, de venir faire au tableau une variante d'un élément de l'exercice. Les groupes avaient un quart d'heure de travail commun pour rendre en leur sein l'exercice clair pour tous. La réussite du groupe, c'est le fait que les plus faibles sachent après ce quart d'heure traiter la variante de l'exercice.

- Ce module a bénéficié l'an dernier de quelques heures supplémentaires pour du soutien à une partie de la promotion. Ce système permet d'assurer ces heures sans matériel supplémentaire. Pour varier un peu, il est possible de prévoir pendant ces heures un peu plus de travail de groupe ou à deux explicitement organisé, de donner un peu de travail à faire pour ces séances et de prévoir quelques passages au tableau.

**Bilan pédagogique.** Il a été clairement positif, pour les raisons suivantes.

- Ça a été un grand plaisir pour moi de cesser de donner des directives et du travail à faire d'une séance sur l'autre aux étudiants, mais seulement de leur proposer différents moyens et aides. À eux de se prendre en main. C'est plus responsabilisant. De mon côté, l'abondant matériel permettant aux étudiants de se débrouiller seuls me donne de la liberté pendant le TD, c'est très appréciable.

- Ce TD a été mené deux années de suite, par trois enseignants différents : le dispositif fonctionne. Ce rodage a permis de nombreux petits réglages et petites corrections sur les différents documents.

- Les étudiants travaillent vraiment davantage en TD, sauf une très petite minorité mais c'est son affaire — elle choisit l'oisiveté, libre à elle, j'ai donné tous les moyens pour travailler —, et davantage ensemble. Le TD tire profit de l'hétérogénéité des niveaux. Les étudiants disent tous apprécier l'autonomie, et s'en emparent rapidement. Un jour que j'étais arrivé cinq minutes en retard en TD, ils avaient déjà disposé les tables pour former leurs groupes et commencé à travailler.

- En revanche ils ne travaillent pas vraiment plus chez eux, en tout cas pas ceux qui en auraient besoin.

- Il faut trouver des moyens de vite repérer les étudiants en difficulté, ce qui paradoxalement est plus difficile qu’avec un fonctionnement classique où tous font la même chose. Là, les étudiants les plus faibles sont les derniers à passer les contrôles. J’ai pour cela ajouté le marquage **[BASE]** des exercices les plus simples, en demandant aux étudiants de m’avertir tout de suite s’ils leur posent des problèmes.
- Pousser les étudiants au travail immédiatement est capital, leur rappelant que passer tous les contrôles de ce module assez bref est exigeant et demande du travail personnel. Sinon ils se réveillent trop tard.
- Les vidéos n’ont été utilisées que par une minorité d’étudiants, un quart environ. Cependant, ceux-ci m’ont spontanément dit qu’elles les avaient beaucoup aidés et qu’elles sont un point fort de ce TD. Certains les visionnent sur téléphone portable pendant le TD, quand ils bloquent sur un exercice. Ça me démultiplie pendant le TD, c’est drôle.
- Ce système peut avoir le défaut de favoriser l’apprentissage à court terme, juste pour la validation du contrôle de chaque thème. Le contrôle final classique vient y remédier partiellement.
- La qualité des fiches-recettes est essentielle. Elles doivent permettre un travail vraiment autonome, donc prendre les étudiants par la main. Dans un système apparenté, je l’ai constaté en seconde année : une fiche-recette qui n’a pas été comprise m’a obligé à reprendre des choses à zéro en cours magistral.
- La disponibilité de l’enseignant et sa recherche d’interaction avec les étudiants sont indispensables au bon fonctionnement de ce TD.
- Les étudiants sont laissés assez libres de l’ordre de traitement des thèmes. Cependant, comme parfois quand on laisse une liberté individuelle dans un groupe, ils choisissent très majoritairement tous le même.
- L’exercice de groupe **[G]** décrit plus haut a été apprécié mais a demandé près de 40 minutes aux groupes et 15 min de passages au tableau, déséquilibrant la séance de TD. Je pense que je le réserverai à l’avenir aux séances de soutien. Néanmoins la démarche est intéressante et mérite d’être plus explorée.
- J’ai peu de moyen objectif de comparer l’efficacité de cette méthode d’apprentissage à celle du TD classique qui l’a précédée. Les notes obtenues par les étudiants au module ont été supérieures, mais la méthode d’évaluation des étudiants étant complètement différente, cela ne signifie rien en soi. Cependant, les seules constatations données ci-dessus me font préférer sans conteste ce nouveau TD.

## Bilan technique.

- Produire le matériel et les vidéos a été très long mais ensuite le temps requis pour cet enseignement est comparable à celui d’une méthode classique. Le plus délicat à écrire a été les recettes, à cause de leur importance, dite plus haut. Les vidéos ont été plutôt rapides à produire, avec environ 2h par heure de vidéo réalisée, tout compris : préparation, mise en place de la webcam, tournage, exportation du fichier et écriture de l’interface Moodle. Cela a été (beaucoup) plus long seulement quand j’ai dû faire du montage.
- Le point difficile a été la réalisation des sujets. Ce module repose sur l’existence d’une vingtaine de sujets similaires mais distincts par thème abordé, pour permettre le passage de contrôles à la demande tout en empêchant le copiage. Ils ont été très longs à produire, sauf ceux de « dérivation » et « calculs divers ». Ils sont également lourds à revoir : j’ai dû modifier en cours de route les sujets « degré un » et « intégration » qui s’étaient révélés un peu inadaptés. Seul ce point rend le système lourd à manier. Toute modification significative d’une recette ou d’une fiche d’exercices nécessite l’adaptation des sujets —mais cela est surtout long à cause de mon choix d’exercices avec grandeurs dimensionnées reprenant les notations de sciences. Si le fond *et la forme* des sujets sont stéréotypés, en produire un grand nombre est assez rapide. Pour aller plus vite, à l’avenir je produirais une feuille d’exercices en gardant pour moi une ou deux variantes de chaque exercice, exercices de base très faciles exclus (légers changements de notations, de constantes, de fonctions auxiliaires), l’ensemble de toutes ces variantes constituant les sujets, à piocher au hasard. Modifier la feuille d’exercices reviendrait juste à ajouter ou retirer quelques sujets.

Par ailleurs, ce que j’aurais souhaité était de construire un serveur automatisé de contrôles, du type fourni par WIMS <http://ticewims.unice.fr> (voir par exemple *Plates-formes d’apprentissage et wims, un voyage dans l’enseignement 3.0*, M. Kobylanski, *Gazette des mathématiciens* n° 145, SMF, juillet 2015). Cependant mes étudiants n’ont pas accès à des ordinateurs ou tablettes en salle de TD, par ailleurs ma

volonté de faire travailler le calcul littéral avec des notations variées (voir §2 ci-dessous) rendait actuellement impossible une réalisation de sujets de ce type. J'ai donc renoncé et en suis resté au papier. Ce dernier a aussi le grand avantage de me faire voir et corriger la *rédaction* des calculs.

## 2 Reprise des notations des sciences, avec des grandeurs dimensionnées

**Notations, termes « parasites » dans les calculs.** La question des notations me semble être une grande source de difficultés entre mathématiques et sciences dans l'enseignement technique. En effet, en mathématiques, les notations sont indifférentes. Aussi, on note la plupart des variables  $x$ ,  $y$  ou  $t$  et les termes et facteurs indifférents à un problème sont omis. En sciences au contraire,  $x$  est rare. Les variables sont  $C_0$ ,  $[\text{OH}^-]$ ,  $\overline{S_1 S_2}$ ,  $k$ ,  $\lambda$ ,  $U$  etc. Elles sont en outre dimensionnées.

Bien que purement formel, ce changement est pour beaucoup d'étudiants un obstacle à l'utilisation en sciences de ce qu'ils ont appris en mathématiques. Voici trois exemples.

– La résolution d'équations linéaires de degré un ne se réduit pas à celle de  $y = ax + b$ . Ainsi, exprimer  $h_1$  sachant que  $\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2 = \rho_1 \left( \frac{V}{s} - \frac{s}{s} h_1 \right)$ , question issue de génie chimique, pose des difficultés.

– Un(e) étudiant(e) sortant de terminale et sachant intégrer sans difficulté une constante,  $x dx$  ou  $x^2 dx$  a souvent du mal avec  $P dP$ ,  $\frac{2m}{RT} P^2 dP$  etc. Semblablement, très peu arrivent à dessiner l'allure de  $P$  comme fonction de  $V$  à  $T$  fixé pour un gaz tel que  $PV = nRT$ , même quand je transforme moi-même en  $P = \frac{nRT}{V}$ , alors que le graphe de  $x \mapsto \frac{1}{x}$  est largement acquis.

– La semaine même où j'avais battu en brèche, par plusieurs exercices, le réflexe «  $\frac{1}{x} = \frac{1}{y} + \frac{1}{z} \Rightarrow x = y + z$  », un collègue de physique m'avertissait que quasi-tous les étudiants faisaient la faute en TP. Seules les notations différaient : les étudiants n'avaient pas fait le lien.

Bref : devenir indifférent aux notations est une compétence — d'abstraction — qui s'acquiert par le travail *et qui n'est pas du tout acquise à la sortie du lycée*. Souvent, il est même plus utile d'être à l'aise dans des calculs simples mais aux notations variées et présentant des termes « parasites » *i.e.* sans incidence sur le cœur du calcul, que de l'être dans des calculs intrinsèquement plus compliqués.

Je nomme donc les variables telles qu'elles apparaissent en sciences. Je m'en explique aux étudiants s'ils s'en plaignent et tiens compte de la difficulté introduite.

**Dimensionnement des variables.** Enfin les étudiants de sciences ont une chance : leurs variables ont des unités. Cela permet de détecter facilement toutes les fautes rendant les expressions inhomogènes — la majorité. Cette détection est une compétence formelle, elle s'intègre donc parfaitement aux exercices de mathématiques. Je donne donc un sens et une dimension à toutes les variables que j'introduis et demande aux étudiants de toujours prêter attention à l'homogénéité. Le plus souvent, cela signifie simplement d'être choqué dès que le crayon écrit quelque chose comme  $C_1 V_1 + V_2 + \dots$ , mais le bénéfice de cet apprentissage très simple est très grand. Si seulement tous les étudiants pouvaient l'acquérir ! J'ai ajouté une feuille optionnelle d'exercices sous forme de jeu pour aider à cela ([homogeneite.pdf](#)).

## 3 Détails sur certaines feuilles d'exercices et informations pour la compilation LaTeX

**Détails techniques sur les feuilles *Équations de degré un*, *Dérivation* et *Intégration*.**

– Les étudiants ont une tendance difficile à désamorcer à transformer  $\frac{1}{x} = \frac{1}{y} + \frac{1}{z}$  en  $x = y + z$ , surtout quand l'exercice ne porte pas visiblement sur une inversion de somme de fractions. Aussi, j'ai fait en sorte que deux des exercices de résolution de systèmes de deux équations de degré un, ainsi que toutes les questions de ce type dans les contrôles, amènent très probablement à devoir réaliser une telle inversion.

– Vu les difficultés des étudiants et le fait qu'ils ont tendance à utiliser hors de propos les formules de dérivée d'un produit ou d'un quotient, j'ai éliminé de la feuille *Dérivation* les exercices où la variable de dérivation apparaît dans deux termes en facteur. Je n'en ai laissé qu'un peu en bonus.

– Pour l'exercice de groupe **[G]** de la feuille *Dérivation*, ma variante d'exercice était la suivante.

$$\text{a) } \frac{\partial}{\partial \varphi} \frac{\cos \frac{\theta}{2}}{\cos \frac{\varphi+\theta}{2}} \quad \text{b) } \frac{\partial}{\partial [B]} \log \frac{[A][B]^2}{k[C]^3} \quad \text{c) } \frac{\partial}{\partial V} \frac{U^2 - UV}{R} \quad \text{d) } \frac{\partial}{\partial a} \left( \left( \frac{b}{a} \right)^{3/4} \right) \quad \text{e) } \frac{\partial}{\partial s} (V e^{s/k} \cos \frac{t-s}{2}).$$

– J’ai glissé dans les exercices d’intégration l’usage de formules sans rapport. Connaître une formule, c’est en effet y penser et l’utiliser correctement alors que l’attention est portée ailleurs. Par exemple l’exercice 4 a) fait utiliser  $\frac{1}{2} \ln 4 = \ln 2$ , le 5 c) et d) fait multiplier des puissances de  $H$  ou effectuer  $\sqrt{4H} = 2\sqrt{H}$ .

**Informations techniques sur mon code LaTeX.** Le répertoire `TDThematiques` contient deux fichiers auxiliaires devant y être conservés et permettent la compilation des fichiers `.tex` se trouvant dans ce répertoire, un sous-répertoire ou un sous-sous-répertoire :

– `preambule_fiches.tex` contient les données (type `\usepackage`, `\newcommand` etc.) devant être en préambule de tous les fichiers `.tex`. Il y est appelé par `\input{preambule_fiches}`. Il appelle notamment `\usepackage{answers}` permettant d’associer à chaque exercice sa solution, en regroupant les solutions en fin de fiche d’exercices. Toutes ces données, par exemple la commande `\entete` créant la mise en page de l’en-tête, peuvent être donc modifiées d’un seul coup pour tous les documents en modifiant ce fichier.

– `editeur_de_sujets.tex` contient les macros permettant l’édition des sujets de contrôle. Il est appelé par `\input{editeur_de_sujets}` dans tous les fichiers des répertoires `Sujets_de_controles_et_corriges` et `Sujets_blancs`. Les sujets, numérotés, tiennent sur des demi-feuilles A4, donc sont édités à deux (identiques) par page. Dans un fichier de sujet il suffit, en gros, de saisir l’énoncé des questions successives avec éventuellement leur solution, pour éditer une liasse de sujets mis en page grâce aux macros écrites dans `editeur_de_sujets.tex`. Si la commande `\modesolutionstrue`, écrite au début, est laissée en commentaire dans un fichier de sujets, la compilation produit les sujets. Si elle est activée, elle produit la feuille des solutions, qui facilite la correction. Attention, il faut alors renommer le fichier `.pdf` produit pour le distinguer du fichier de sujets. Le fichier `fichier_de_demonstration_controles` du répertoire `Sujets_de_controles_et_corriges` permet de comprendre sur un exemple comment fonctionnent les différentes commandes que j’ai créées.

– J’ai placé en commentaire dans tous mes fichiers des explications que j’espère suffisantes pour en comprendre le fonctionnement et permettre leur adaptation éventuelle, de fond ou de forme.

– Presque tous les fichiers sont prévus pour être compilés par `pdflatex` mais certains comportent des commandes PostScript et doivent l’être avec `latex` puis `dvips` : je l’indique dans leur première ligne.

– Les éventuels fichiers de figures de chaque fichier `MonFichier.tex` sont placées à côté de lui dans un répertoire nommé `MonFichier_figures`.

– Attention si vous modifiez les fichiers `.tex` : le recours à des fichiers auxiliaires appelés par la commande `\input` crée parfois, en cas d’erreur de syntaxe LaTeX dans le fichier principal que l’on saisit, des messages d’erreur sans indication d’un numéro de ligne pour cette erreur. L’erreur peut être alors compliquée à localiser. Notamment veillez bien à ce que les symboles ouvrants et fermants type `{}` et `}` soient toujours bien appariés et que les commandes appelées aient toujours le nombre exact d’arguments qu’elles requièrent.

## 4 Solutions des exercices balisés [RÉCRÉATION] non données dans les feuilles

– Dans la feuille *Dérivation*, pour les arbres, disposer cinq droites non deux à deux parallèles ou trois à trois concourantes (c.à.d. en position générale), quelconques. Placer les arbres aux  $C_5^2 = 10$  points d’intersection créés. Par construction on obtient dix arbres, formant cinq alignements de quatre. La solution la plus symétrique place les arbres aux sommets (concaves et convexes) d’une étoile régulière à cinq branches.

Pour le cadre à trous, je connais deux solutions : 1/7/3/2/1/1/1/2/1/1 et 1/11/2/1/1/1/1/1/1/1. Je pense que ce sont les seules mais ne l’ai pas prouvé.

– Dans la feuille *Calculs divers*, 9€.

– Dans la feuille *Intégration*, tracer la croix à l’aide de diagonales des petits carrés. Dans l’exercice du quadrillage tronqué, si on colorie ses cases en noir et blanc comme celles d’un échiquier, chaque domino recouvrira une case de chaque couleur. Mais comme on a effacé deux cases de même couleur, le quadrillage contient deux cases de moins d’une couleur par rapport à l’autre et ne peut donc être recouvert de dominos.

– Dans la feuille *Calculs d’incertitudes*, Exercice sur les puissances :  $7^{10} < 9^{10} = (3^2)^{10} = 3^{20} < 4^{20} = (2^2)^{20} = 2^{40}$ . Avec les allumettes, former un tétraèdre régulier.