JeuGebra : un exerciseur libre pour les apprentissages automatisés ou réfléchis

Cet article fait suite à un atelier animé par Jean-Claude Renoult et moi-même, lors des Journées Nationales de l'APMEP 2014 à Toulouse.

1. Pourquoi ce titre ?

JeuGebra est créé avec le logiciel *GeoGebra.*

Il s'agit de jeux de dominos, de cartes, ainsi que d'une douzaine de casse-têtes (l'Ane Rouge) de type "taquin", s'adressant aux professeurs et élèves de premier et second degré. L'idée de départ est de pouvoir utiliser un double support ludique, virtuel (informatique) et physique (papier ou carton), avec, la plupart du temps, création aléatoire des nombres utilisés, parfois paramétrables par curseurs.
L'ensemble des fichiers se présente sous forme de plus de 500 appliquettes *GeoGebraWeb HTML5*, stockées directement sur le site *JeuGebra* (non dépendantes du cloud *GeoGebraTube* de GeoGebra) : le format *HTML5* permet d'exécuter ces appliquettes sur tout ordinateur, et aussi sur la plupart (?) des tablettes et smartphones (contrairement aux appliquettes *Java*).

Exerciseur libre : licence CreativeCommons non commerciale, avec modifications possibles, ce qui signifie que tous les fichiers sont en libre accès, modifiables, imprimables et éditables sur d'autres sites, à condition de citer le nom de l'auteur et de ne pas en retirer un bénéfice commercial (publicité, etc.) et de diffuser les modifications suivant la même licence.
Il est possible d'utiliser *JeuGebra* en ligne ou en local (« Télécharger *JeuGebra* » sur la page d'accueil de l'application) : l'installation en local (30Mo) permet de s'affranchir des absences ou lenteurs de connexion, fréquentes dans certains établissements : tout enseignant utilisant régulièrement une salle informatique a vécu un jour l'angoisse (ou l'excitation !) d'improviser un plan B, faute de connexion Internet...
Chacune des deux catégories de fichiers (du type dominos ou cartes) est programmée avec un squelette analogue dans le tableur de *GeoGebra* : tout utilisateur de *GeoGebra* peut donc en théorie modifier ou créer des fichiers de type *JeuGebra* avec un peu de maîtrise du tableur de *GeoGebra*.

Apprentissages automatisés ou réfléchis : les exercices proposés (en général aléatoires sur un thème donné, correspondant à des savoir-faire identifiés nécessitant des automatismes et/ou de la compréhension) peuvent être répétés autant de fois qu'on le désire, par appui sur un bouton de réinitialisation.

OK, mais pourquoi créer un exerciseur pour les apprentissages automatisés ou réfléchis ?

Stanislas Dehaene, lors de sa remarquable conférence inaugurale du samedi 17 octobre au congrès 2014 de l'APMEP, a su expliciter certaines observations pédagogiques que ressentent beaucoup d'enseignants de mathématiques : il a, par exemple, développé l'idée que les apprentissages automatiques permettent de mettre en place des connaissances implicites, rapides et non-conscientes, libérant de la place pour les traitements explicites et conscients du cortex pré-frontal (là où on « réfléchit »). Lors d'une précédente conférence, il a illustré cela par une analogie avec la lecture en présentant le texte suivant :

> Revenons en enfance...
> Il ni a peu tè tre pa de jour de no
> tre an fan ce ke nou ai ion si plè
> ne man vé ku ke ce ke nou a von
> cru lè cé san lé vi vre, ceux que
> nous avons passés avec un livre
> préféré.
>
> Marcel Proust, *Sur la lecture*

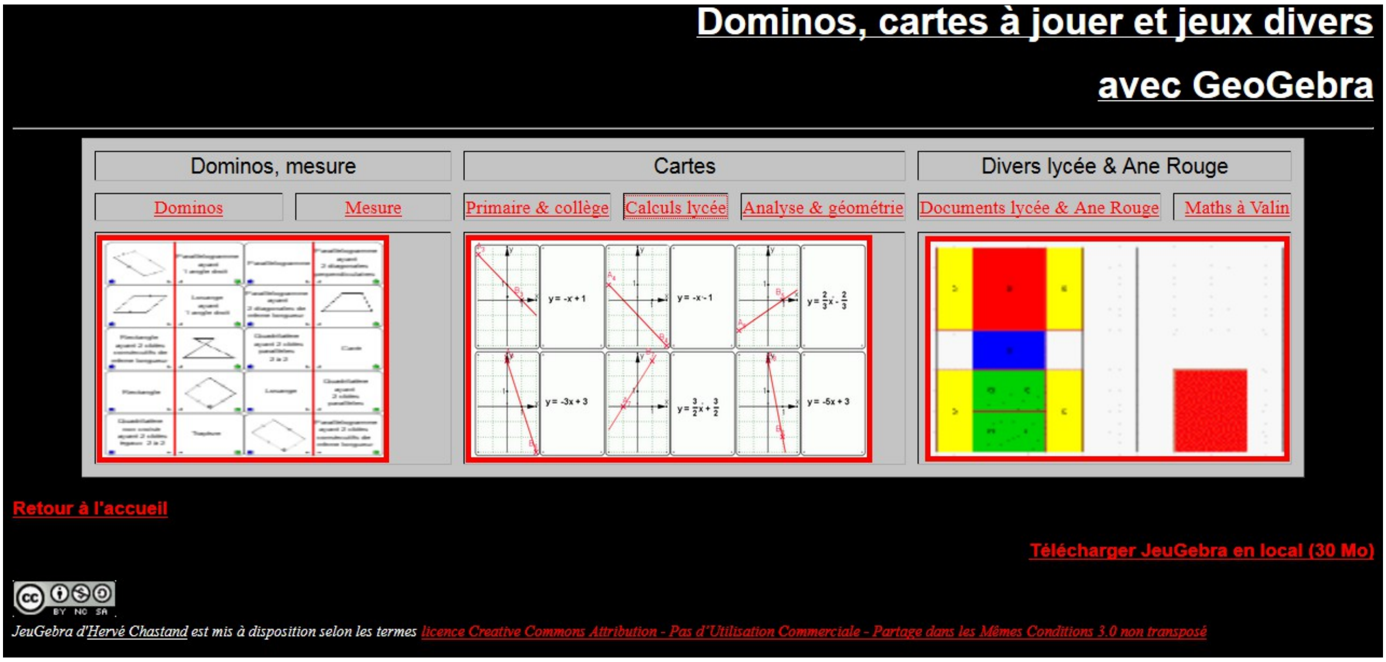
Constatation : on mobilise tellement notre cerveau pour déchiffrer la première partie que l'on n'en saisit pas le sens, alors que la dernière partie est limpide (les routines de lecture permettant de saisir immédiatement la signification de celle-ci).

Cela illustre bien la réflexion que fait souvent un professeur de mathématiques à propos d'un élève : « il a de bonnes idées, mais il ne peut pas les mettre en forme dans un algorithme structuré, car le moindre calcul lui demande un tel effort qu'il lui fait oublier l'essentiel : son raisonnement initial ».

Problème : il semble à beaucoup (?) d'entre nous que les apprentissages automatiques sont actuellement pour le moins dévalorisés dans l'enseignement des maths...
En effet, ils sont fastidieux (pour les professeurs comme pour les élèves), et les résultats obtenus actuellement paraissent peu efficaces avec les méthodes traditionnelles, du fait (entre autre), que les élèves veulent des résultats immédiats (problème de la relation au temps, qui « s'accélère »), avec récompense (ça doit être juste). Les élèves ayant des difficultés, on préconise de faire le moins possible de calculs répétitifs, les calculatrices servant de boîte noire « magique » : position démagogique qui n'aide pas l'élève à se structurer ! S'il est vrai que passer des heures à faire des exercices répétitifs ne constitue pas l'essence de l'apprentissage des mathématiques, ne plus en faire n'est pas une solution non plus...

2. Présentation de *JeuGebra*

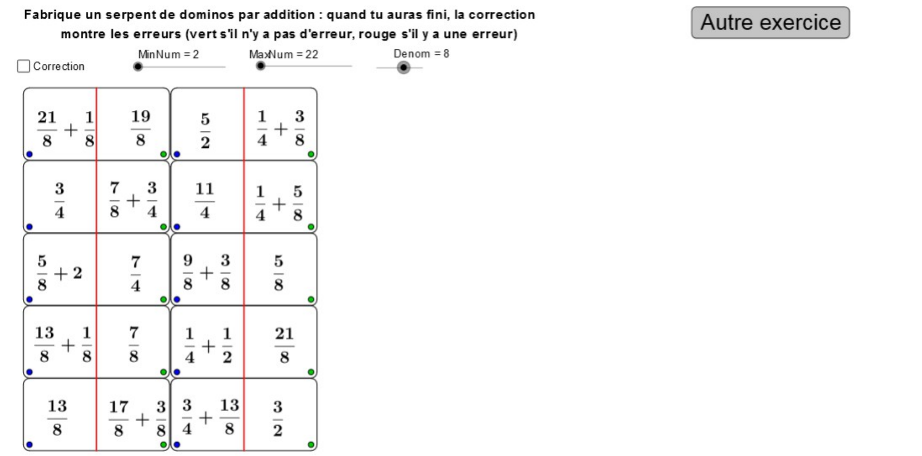
Une partie de la page d'accueil se présente de la façon suivante : on clique sur les textes rouges soulignés pour accéder aux exercices, sur les images pour obtenir une description des jeux papier/carton.



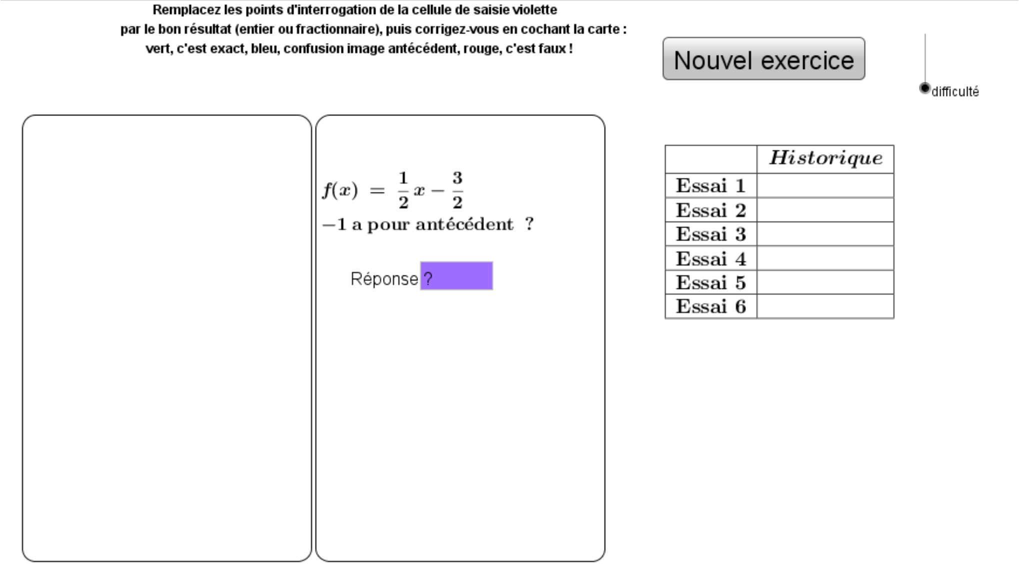
L'aspect est très ancien (avatar d'un site précédent) et demanderait à être rafraîchi, mais, à l'utilisation, les élèves se l'approprient sans problème !
Le lien « Maths à Valin » renvoie à d'excellents exerciciels GeoGebra convertis en HTML5 de notre confrère Joël Gauvain (auteur notamment de la remarquable conversion de Interespace en HTML5, dont a parlé Mathematice dans un numéro précédent) : cela ne fera pas l'objet de cet article (ce lien n'est évidemment pas disponible dans la version en local de *JeuGebra*).

Un des objectifs de *JeuGebra*, est, entre autres, de capter l'attention de l'élève par :

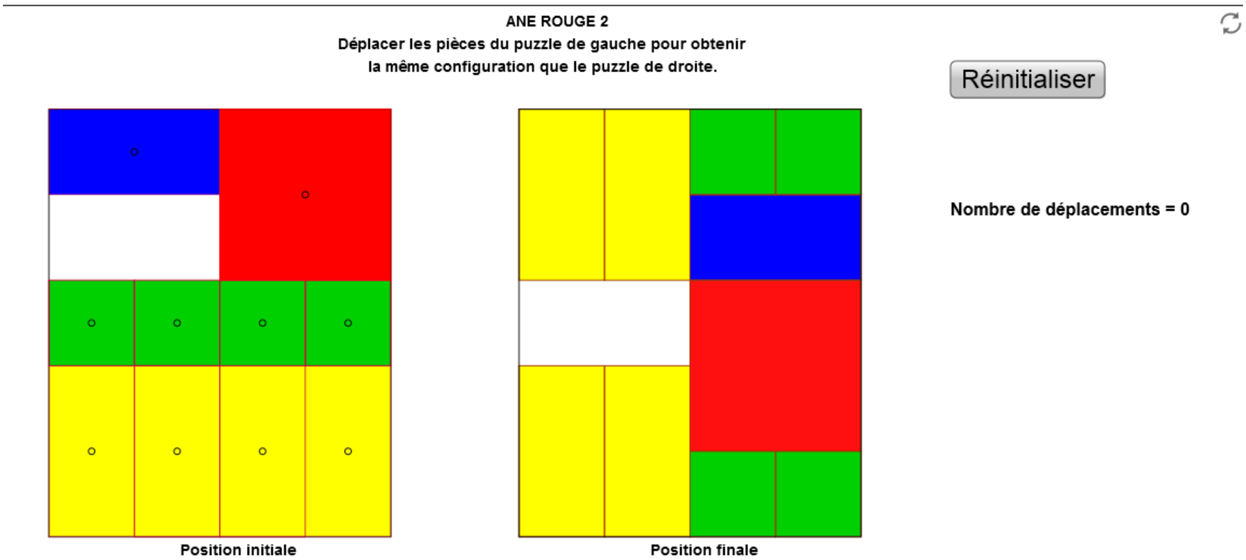
- **une interface informatique toujours identique**



Exemple de jeu avec 10, 21 ou 28 dominos (40 savoir-faire)



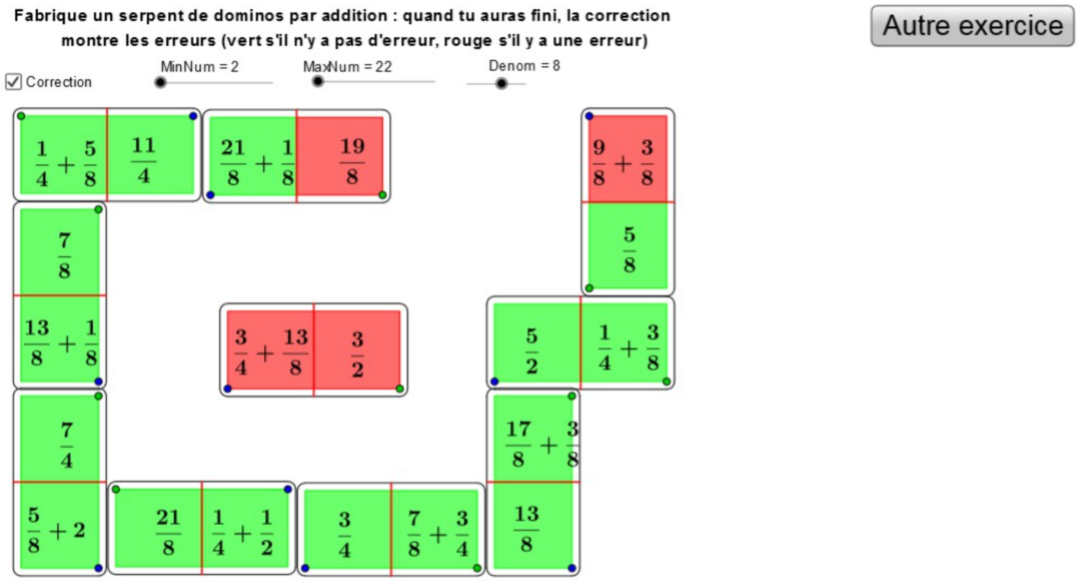
Exemple de jeu avec une carte (plus de 250 savoir-faire)



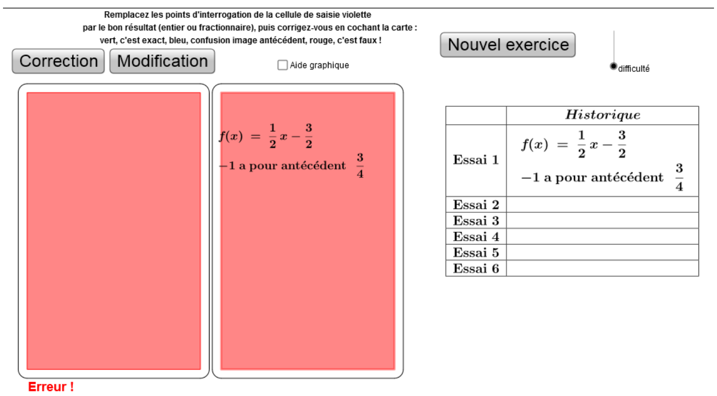
Exemple de jeu d'âne rouge (13 exercices)

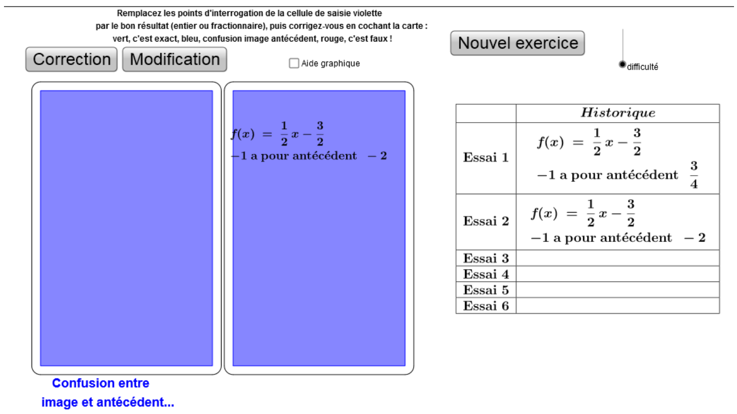
Cela permet une appropriation très rapide du logiciel par l'élève et une facilité d'utilisation pédagogique accrue pour le professeur

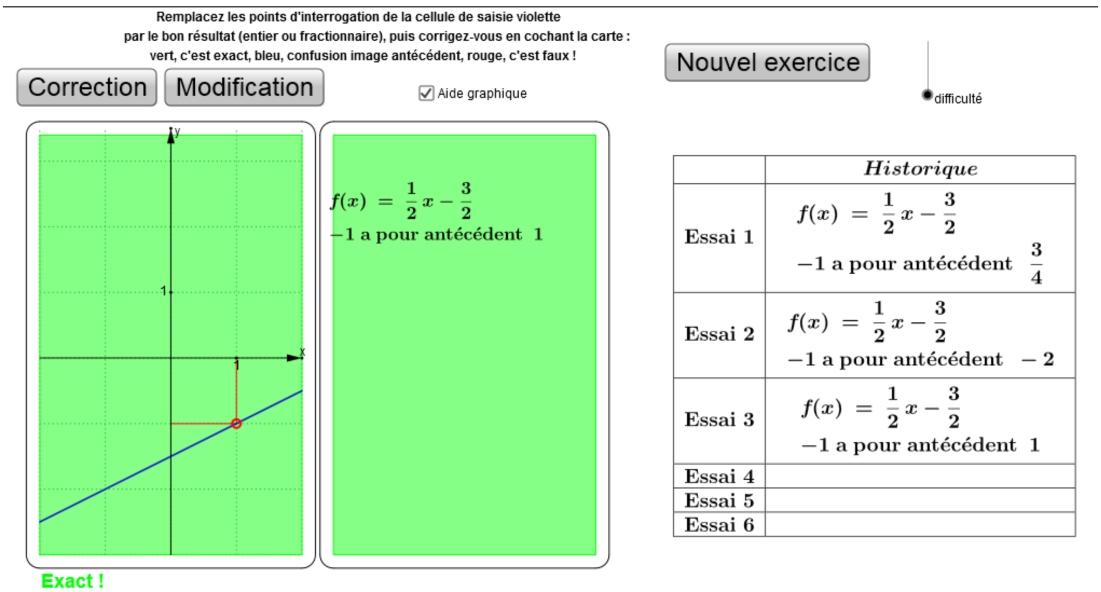
- **une réponse logicielle immédiate** annoncée la plupart du temps par une couleur :



Dominos après avoir coché la case correction : vert (réponse exacte), rouge (réponse fausse ou connexion non faite)

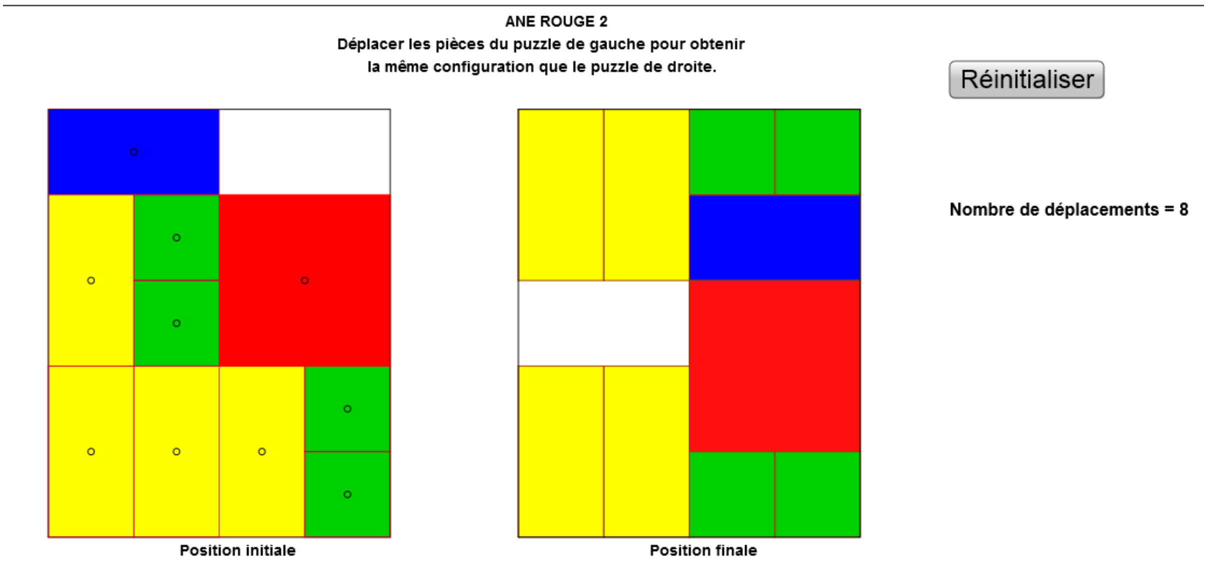






Cartes après avoir coché la case correction : vert (réponse exacte), rouge (réponse fausse), bleu (réponse incomplète, ou erreur répertoriée) ; aide graphique après la première erreur.

Ane rouge 2



Ane rouge après avoir effectué 8 déplacements : on est sans doute sur la bonne voie, mais ce n'est pas terminé...

3. Utilisation pédagogique de *JeuGebra*

Lesdominos

Il s'agit d'un jeu classique de dominos sur des thèmes variés : tables d'addition, de multiplication en primaire, calcul fractionnaire, avec des relatifs, etc. au collège. Le développement de cette partie est actuellement au point mort, après avoir été une des bases d'un travail initial en IUFM avec des stagiaires Professeur des Écoles : il serait très facile de rajouter d'autres savoir-faire, notamment en calcul numérique, les textes de la plupart des thèmes de dominos se programmant directement dans le tableur, avec recopie vers le bas.

Sous la forme informatique, les dominos peuvent être déplacés très facilement à l'aide d'une translation ou d'une rotation (en général boutons bleus et verts) : l'exemple ci-dessus (accessible par « Dominos », de la page d'accueil, puis colonne « Calculs collège », « Addition de fractions positives (10) ») permet de s'exercer avec des sommes simples de fractions, où il est possible de choisir la valeur minimale ou maximale des nombres au numérateur et au dénominateur.

Lorsque l'élève pense avoir terminé, il coche la case « correction » et il verra apparaître soit la couleur verte (c'est tout bon) soit du rouge. Certains élèves cochent la case « correction » dès le début, ce qui permet de travailler par essai/erreur, avec les avantages et inconvénients que cela comporte : on pourrait facilement cacher la case « correction » et ne la faire afficher qu'après un certain nombre de déplacements, ou fixer un nombre maximal de corrections...

Sous la forme papier, différentes règles ont été testées, qui permettent de travailler à plusieurs. Les nombres étant aléatoires, l'enseignant peut fabriquer plusieurs jeux sur le même thème, avec des degrés de difficulté gradués (par exemple en modifiant les valeurs maximales du numérateur et du dénominateur). Dans la pratique, le plus simple est d'imprimer le jeu sur une fiche bristol, le plastifier, puis le découper (les PE de mon IUFM conseillaient de les découper avant de les plastifier en les redisposant séparés sur le film plastique, afin que ce soit plus solide : cela double donc le temps de découpage, mais peut-être cela décuple-t-il le temps d'utilisation !).

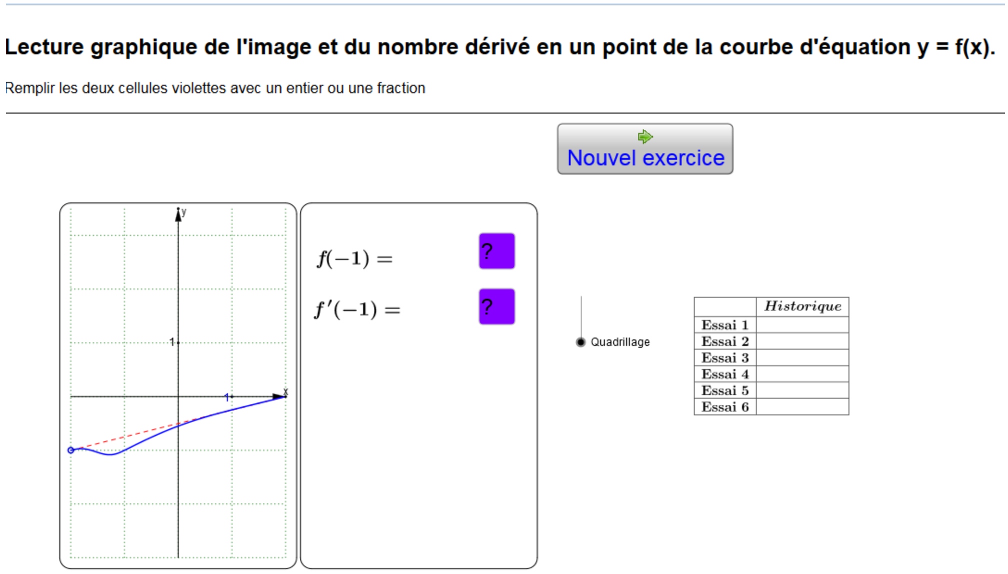
L'aller-retour papier/informatique permet de varier les approches pédagogiques.
Par ailleurs, les élèves motivés peuvent s'entrainer chez eux, avec connexion Internet ou en local.

Les cartes (3 thèmes : Primaire & collège, Calculs lycée, Analyse & Géométrie)

Il y a deux types d'exercices :

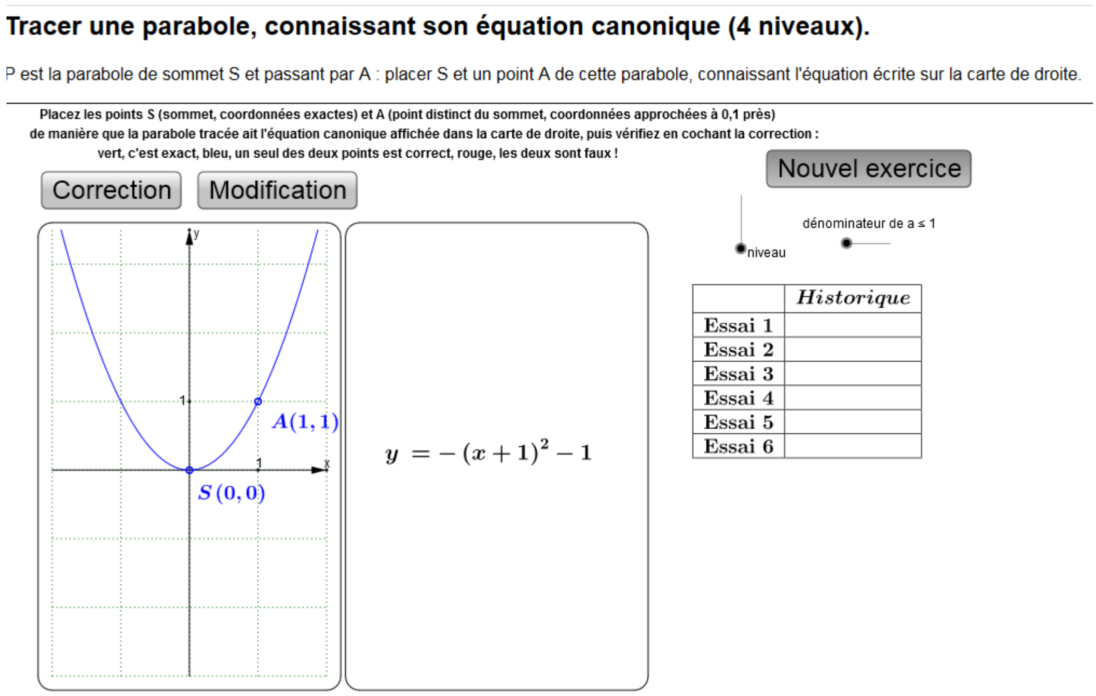
- les exercices d'**entrainement** (1 seule carte) : l'élève a 6 essais, **le résultat n'est jamais donné**.

Exemple 1 : « Analyse & Géométrie », colonne « Fonctions », N° 130, **Entraînement**, teste la lecture graphique d'image et de nombre dérivé ; il y a 4 niveaux de quadrillage, avec possibilité de déplacer le point et sa tangente sur la courbe et proposition d'aide dès la première erreur.



Action de l'élève : écrire sur la carte de droite le(s) résultat(s) au(x) problème(s) posé(s),

Exemple 2 : « Analyse & Géométrie », colonne « Géométrie dans un repère », N° 80, **Entraînement**, , teste la construction du sommet et d'un point d'une parabole, connaissan t son équation canonique : il y a 4 niveaux de difficulté (quadrillage), avec possibilité de déplacer le sommet S et le point A, la parabole se construisant automatiquement et deux propositions d'aide après la première et la deuxième erreur.



Action de l'élève : effectuer une construction sur la carte de gauche.

Il n'est pas possible de saisir les calculs intermédiaires, ceux-ci se feront sur un brouillon papier.
Le résultat n'étant jamais donné, on destine ces exercices à une utilisation avec professeur, par exemple en salle informatique, ou bien en rétroprojection en classe entière. L'utilisation par un élève en autonomie ne peut être envisagée que dans le cadre de révisions.

L'historique permet à l'élève (et au professeur !) de visualiser les erreurs commises : les élèves s'en servent en général pour ne pas réécrire la même chose, l'enseignant peut souvent en profiter pour analyser les erreurs avec l'élève.

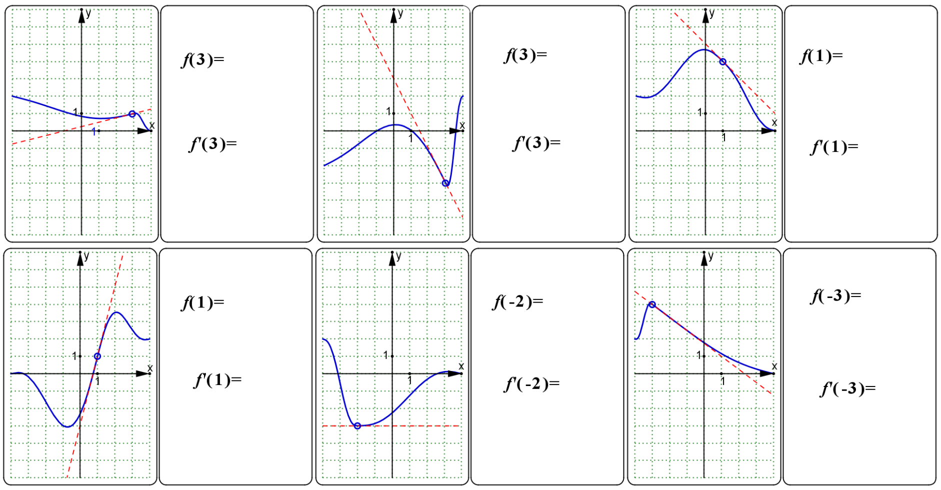
Au bout de 6 essais, le message ci-contre s'affiche : ***Demander de l'aide, ou bien consulter les exercices avec solution***

Beaucoup d'élèves demandent alors une aide au professeur (la plupart de ceux-ci la demandent avant, voulant connaître la solution au problème en obtenant la validation verte..).
Pour certains exercices, l'élève peut consulter une video : une vingtaine ont été réalisées.

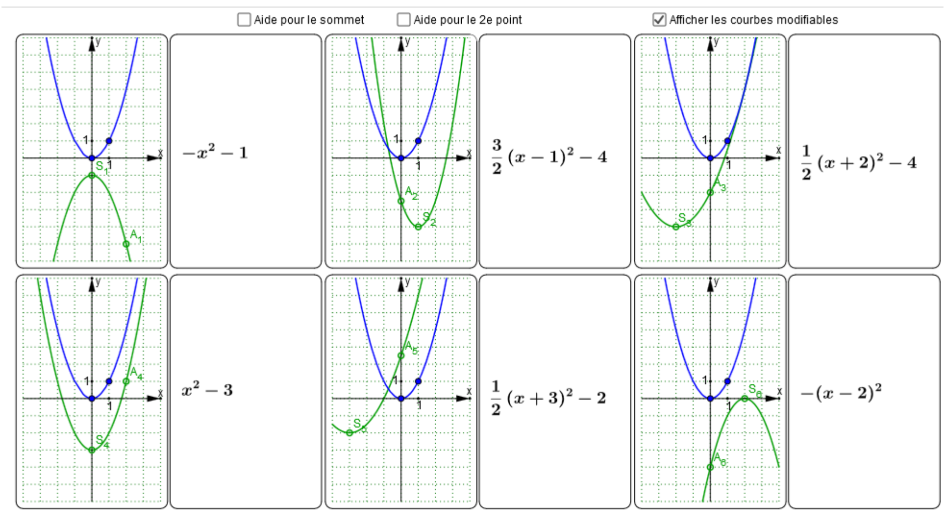
- les **exercices avec solution** (1 seule, ou plus souvent 6 cartes :).

La solution est donnée, en général sur la carte de droite (calcul), ou bien sur la carte de gauche (construction).
L'utilisation par un élève en autonomie est possible pour vérifier ses résultats, calculés sur papier.
L'utilisation professeur consiste principalement en une interrogation papier, en cachant évidemment les résultats : personnellement, je fais des copies d'écran de deux séries de cartes différentes et analogues (sujet A et sujet B), que je distribue alternativement aux élèves, afin d'éviter la copie. Cette interrogation vient systématiquement après une séance informatique avec les exercices d'entrainement, les élèves étant informés du jour de l'interrogation : les élèves le désirant peuvent donc s'entrainer en autonomie à l'interrogation future. On peut aussi envisager une utilisation en vidéoprojection en classe entière, avec ou sans correction, en activité de recherche ou de révision.

Exemple 1 : «Analyse & Géométrie », colonne « Fonctions », N° 130, **Exercices avec solution**, quadrillage 2, solution non cochée).



Exemple 2 : « Analyse & Géométrie », colonne « Géométrie dans un repère », N° 80, **Exercices avec solution**, quadrillage 2, solution cochée, dénominateur de a = 1 : « Afficher les courbes modifiables » étant

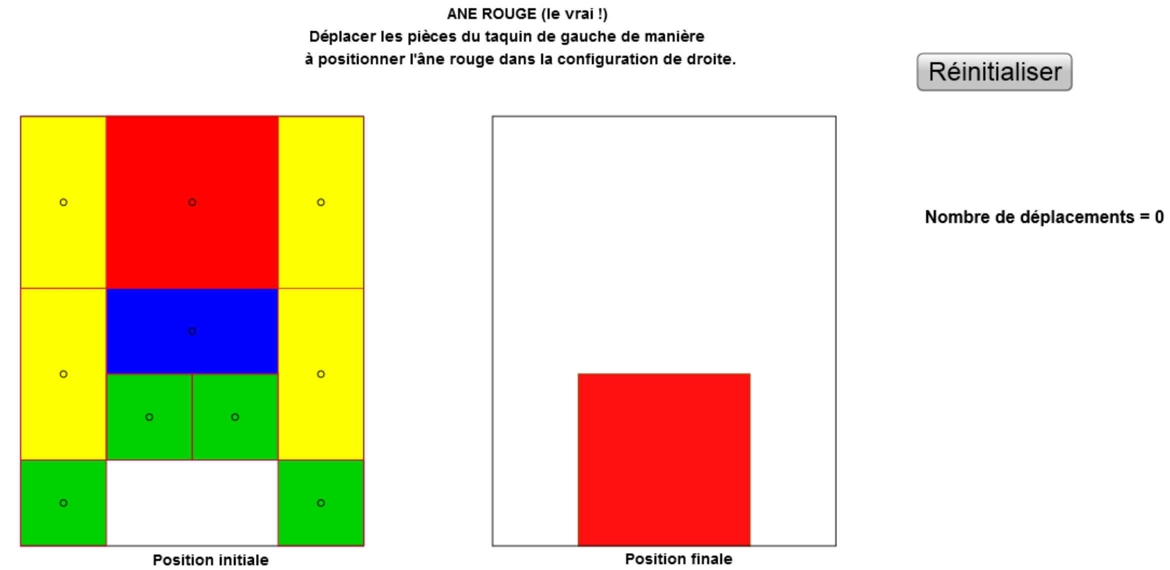


coché, les élèves ou le professeur peuvent faire coïncider la courbe bleue avec la courbe verte solution ; ils peuvent également cocher les aides s'ils le désirent.

De même qu'avec les dominos, sous la forme papier, différentes règles ont été testées, qui permettent de travailler à plusieurs : dans la pratique, je n'ai jamais testé le format papier en lycée, par manque de temps dans mes différentes classes. Je l'ai testé seulement avec des PE (premier degré IUFM) ou en collège : un exemple pédagogique approfondi de ce type de pratique est explicité dans "Mathématiques et jeux au collège", de Jocelyne Richard, Eric Trouillot, Philippe Le Borgne et Didier Faradji, Hachette Education, 06/2005.
Plusieurs séries de 6 cartes sur le même thème, avec réponse ou sans réponse, permettent de créer des jeux de 12, 18 ou 24 cartes.
L'aller-retour papier/informatique permet là-aussi de varier les approches pédagogiques.

L'âne Rouge

Ce jeu de taquin (déplacer des pièces avec dans un environnement contraint, ici un rectangle avec un espace de la taille de deux petits carrés) est assez connu, et plusieurs solutions sont données sur Internet sous forme de fichiers Flash ou Java. Trouver une solution de l'âne rouge est difficile sans entrainement. Il s'agit de passer d'une situation initiale à une situation finale (libérer l'âne rouge), sans connaître la position des autres pièces :

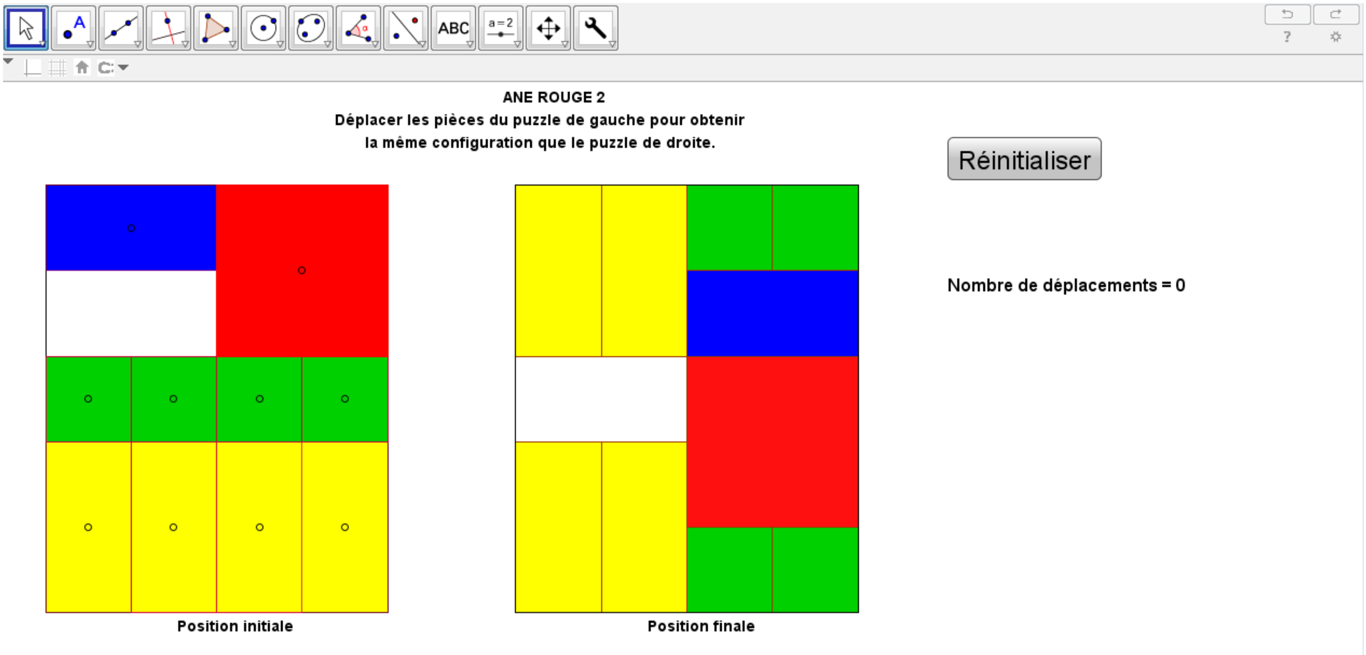


cela induit nécessairement une démarche algorithmique (enchaîner dans un certain ordre des mouvements de pièces bien choisies).
L'idée est de proposer des exercices plus faciles (les douze premières situations), dans lesquelles les positions finales de toutes les pièces sont connues (sauf dans la situation 12), le numéro des exercices permettant de graduer les difficultés.
Trois challenges peuvent être proposés :

- Réussir le taquin : on déplace les pièces par glisser/déposer, le déplacement en HTML5 étant parfois un peu laborieux (notamment au lancement)...
- Savoir le réussir de nouveau (par exemple devant ses camarades) : cela impose de créer une méthode pour retrouver les déplacements.
- Minimiser le nombre de déplacements : personnellement, je l'ai utilisé avec les élèves professeurs PE et en seconde chaque semaine sous forme d'un défi (celui ou celle qui le réalisait avec un nombre de déplacements minimal le montrait à se camarades).

Des solutions (minimales ?) de l'âne rouge 2 et de l'âne rouge ci-dessus sont données, afin de montrer que c'est faisable aux élèves qui veulent les consulter...

Quand on se rend compte qu'on est arrivé à une impasse, l'utilisation de chaînages arrière/avant s'avère indispensable à partir d'un certain niveau de complexification... On peut simuler Annuler/Refaire en HTML5 avec GeoGebra, en modifiant une ligne du fichier html initial. Une utilisation des fichiers initiaux GeoGebra (lancer le fichier HTML5 avec GeoGebra, Fichier/SHIFT-Ouvrir depuis GeoGebraTube, entrer l'adresse) permet de pallier cet inconvénient : on peut alors faire aisément des chaînages arrière/avant avec  Annuler/Refaire (icones en haut à gauche) : cela correspond bien à une démarche expérimentale, et, en algorithmique, à une exécution pas à pas.

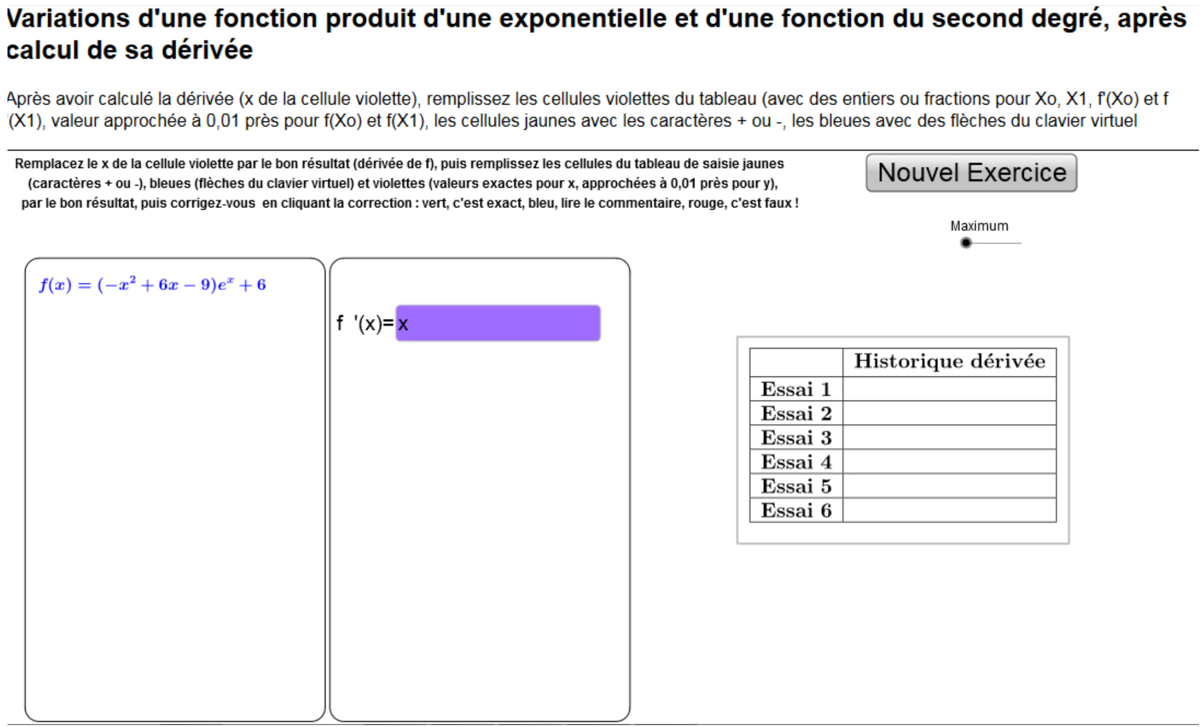


L'utilisation en salle informatique est un peu plus compliquée que précédemment : on peut imaginer (je ne l'ai pas testé) de placer les fichiers *GeoGebra* (d'extension *.ggb*) sur les comptes élève et de les leur faire ouvrir avec *GeoGebra*.

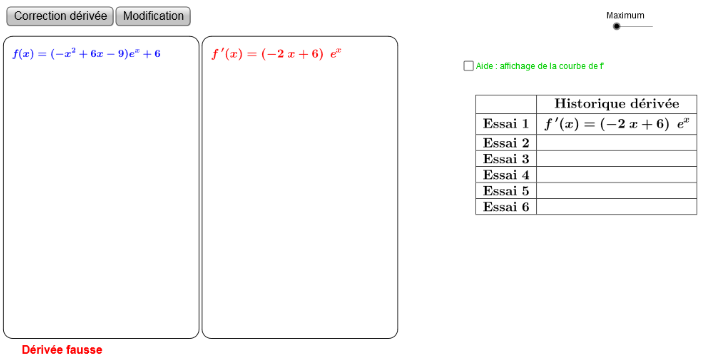
Sous forme non informatique, on peut créer des jeux d'âne rouge en carton (agrandir les pièces), ou, pour les bricoleurs, en bois : un format 40x32 pour le rectangle (soit 8x8 pour les pièces vertes) convient bien. Personnellement, je plaçais 2 ou 3 jeux en bois au CDI, avec la configuration correspondant au défi de la semaine sous papier plastifié : succès garanti !

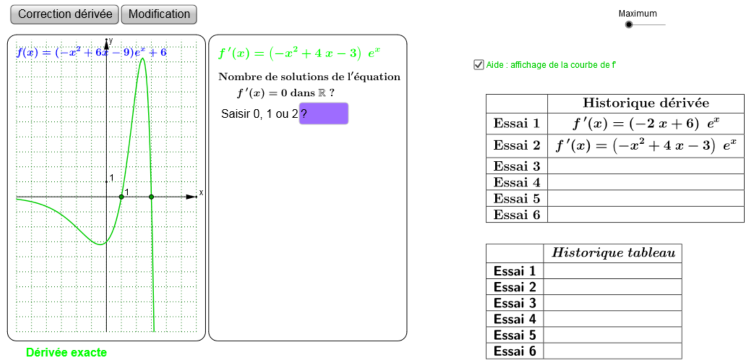
4. Un dernier exemple de carte, un peu plus compliqué, en terminale STI2D, S ou ES.

Un exemple, pris dans « Analyse & Géométrie », colonne « Fonctions », N° 293, **Entraînement** : il s'agit d'étudier la variation d'une fonction produit d'un trinôme du second degré et de e^x.

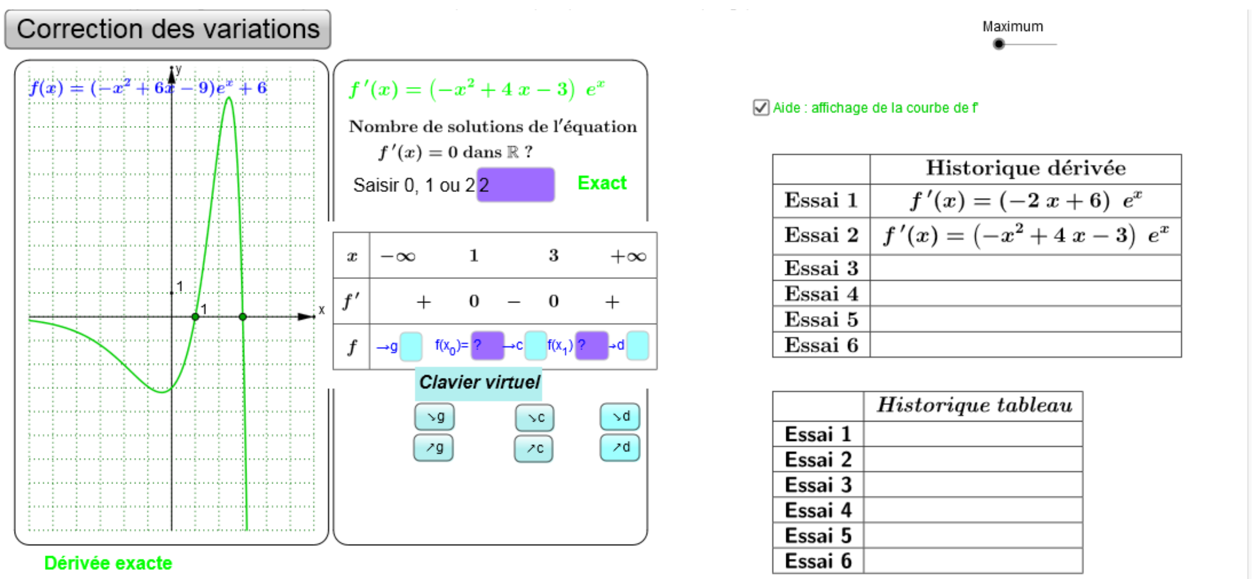


Premier savoir-faire : calculer $f\,'(x)$. L'élève peut afficher la courbe de la fonction dérivée s'il le souhaite après le premier essai infructueux (et prendre le réflexe d'agir ainsi avec sa calculatrice).

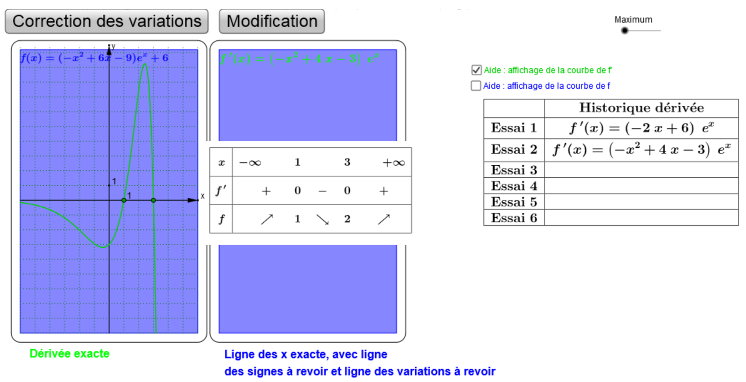


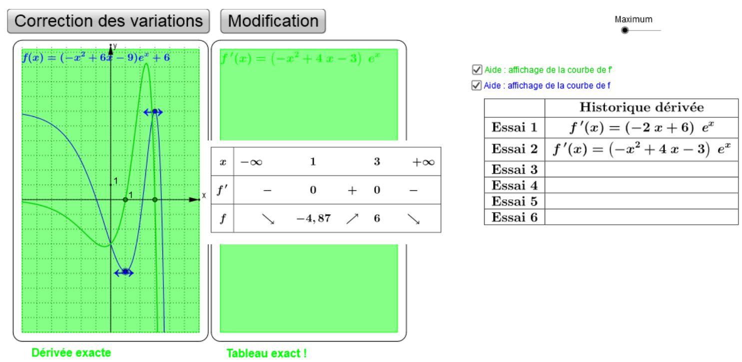


Deuxième savoir-faire : déterminer le signe de la dérivée

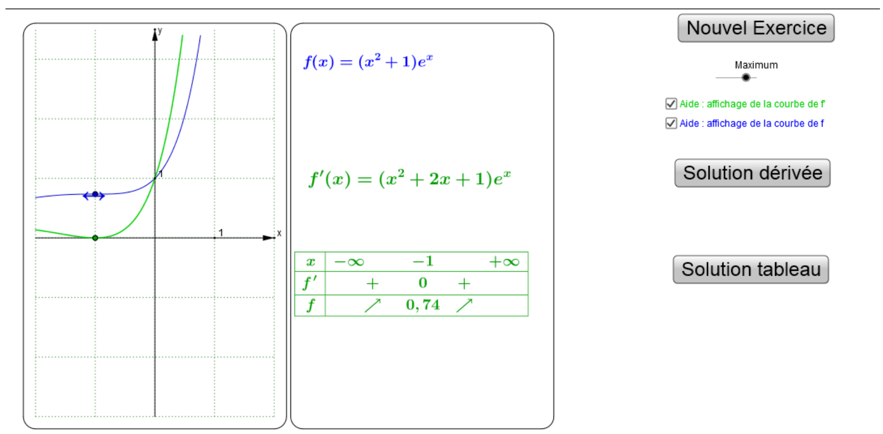


Troisième savoir-faire : déterminer les variations de la fonction, avec affichage éventuel de la courbe de cette fonction après la première erreur.





Enfin, l'élève peut s'entraîner avec l'interrogation (**Exercices avec solution)** associée sur le même thème, et le professeur faire une interrogation (en demandant éventuellement à l'élève de justifier ses résultats au dos de la feuille et/ou de tracer les courbes sur la carte de gauche).



5. Bilan pédagogique de la partie cartes

JeuGebra, dans sa partie cartes (Calculs lycée, Analyse & Géométrie), couvre la presque totalité des programmes de lycée (hors statistiques et probabilités). Je le teste depuis quatre ans dans des classes très diverses (seconde, 1S, 1STMG, TES, TSTI2D, TSTMG), assez fréquemment en AP, une fois sur deux en TD, de temps en temps en vidéoprojection en classe entière.
Les élèves y trouvent en général leur compte, avec un investissement à mon sens bien supérieur à celui obtenu avec un TD classique :

- pas de copie, puisque personne *a priori* n'a le même exercice
- le retour sur erreur est en général beaucoup plus efficace, des élèves décrocheurs parviennent à se remotiver et reprendre confiance.

Pour le professeur, le travail est très différencié, avec une relation à l'élève transformée : c'est l'élève qui repère le message d'erreur avec l'aide de l'ordinateur, s'auto-corrige en général dans un premier temps et demande éventuellement assistance (« Monsieur, il me dit que je me suis trompé, c'est pas possible ! ») : la tâche du professeur est alors d'aider à repérer cette erreur et à l'analyser, voire à refaire la question avec l'élève, comme dans un schéma classique, mais toute la partie préliminaire a été prise en charge par l'ordinateur.

Par ailleurs, le fait de donner une interrogation, évaluée un jour fixé, sur un thème traité précédemment en salle informatique, permet d'accroître l'efficacité du travail sur ordinateur et de motiver bon nombre d'élèves. Cela permet aussi un investissement personnel à la maison de certains élèves.

Pas de miracle cependant : progresser demande des efforts, efforts que certains élèves ne sont pas en mesure de fournir pour des raisons très diverses... Par ailleurs, je continue évidemment de donner des devoirs surveillés de type classique d'une ou deux heures, ainsi que des devoirs maison : il faudra bien passer le bac un jour, poursuivre des études... Et bien sûr ce temps passé à mieux maîtriser les gammes en calcul est réinvesti lors de la résolution de problèmes, l'objectif étant de se libérer des tâches calculatoires pour passer plus de temps sur le raisonnement.

9. Conclusion

Cet exerciseur ne saurait se comparer à *Mathenpoche* ou *Wims*, qui possèdent une évaluation automatisée par élève et/ou par classe. Cependant, il est sans doute tout à fait envisageable de mettre en relation une évaluation *JeuGebra* du type cartes avec une base de données élèves, via un script stockant l'historique et les compteurs d'exercices : ce travail reste à faire, et dépasse mes compétences...

Le fait que la licence de *JeuGebra* soit libre cc-by permet à chacun d'intégrer les pages ou le code dans son environnement : en pratique sur un site personnel ou bien dans l'ENT via une activité Moodle.

Toute appliquette HTML5 de *JeuGebra* ou toute conversion d'un fichier *JeuGebra* modifié en appliquette HTML5 peut évidemment être intégrée un dans n'importe quel site, cours en ligne, MOOC, etc.

L'écriture transparente de *JeuGebra* dans le tableur de *GeoGebra* permet à ceux qui sont intéressés de participer au développement de ce projet (chasse aux bugs, améliorations de fichiers existant, nouveaux thèmes). Ils sont invités à se manifester (voir contact Hervé Chastand en page d'accueil du site *JeuGebra*).

P.S. : des compléments (datant de 2014, non actualisés HTML5) sur comment modifier les exercices et l'utilisation en local sont mis en ligne sur le site de l'APMEP, rubrique PLOT N° 50.