



Cahier des charges

**Implémentation et évaluation d'une interface pour
l'enseignement de la preuve mathématique**

MATHON Tristan
RASOAMANANA Nathanaël

Année 2023-2024

Sommaire

Sommaire.....	1
1. Introduction.....	2
1.1. Concepts de base.....	2
1.2. Contexte.....	3
1.3. Historique.....	3
2. Description de la demande.....	4
2.1. Produit du projet.....	4
2.2. Les objectifs.....	4
2.3. Les fonctions du produit.....	4
3. Contraintes.....	5
3.1. Contraintes de délais.....	5
3.2. Contraintes matérielles.....	5
3.3. Autres contraintes.....	6
4. Déroulement du projet.....	6
4.1. Planification.....	6
4.2. Ressources.....	7
4.3. Organisation.....	7
5. Annexes.....	8
5.1. Première proposition de l'interface graphique et simulation d'interaction (version 0) ..	8
5.2. Seconde proposition de l'interface graphique et simulation d'interaction (version 1).11	11
5.3. Amélioration de la première proposition de l'interface graphique et simulation d'interaction (version 0.1).....	14

1. Introduction

Lors de notre master, nous suivons l'UE Travaux Encadrés de Recherche (TER) qui nous permet d'avoir une expérience dans la recherche. Ainsi, il nous a été proposé quelques sujets et nous avons décidé de choisir "Implémentation et évaluation d'une interface pour l'enseignement de la preuve mathématique". Nous avons fait ce choix car, en dépit du fait d'être en master à fortes composantes en informatique, nous avons toujours de la curiosité envers les mathématiques.

Ce document présentera une vue d'ensemble de notre projet, son contexte et son historique, la description de la demande, les contraintes liées, et pour terminer le déroulement du projet avec les ressources nécessaires. La réalisation du projet se fait au sein du laboratoire LIG avec l'équipe METAH dont les encadrants sont Emmanuel BEFFARA et Martin BODIN.

1.1. Concepts de base

Assistant de preuve (ou à la preuve): Logiciel conçu pour aider les mathématiciens à formuler, vérifier et souvent automatiser des preuves mathématiques. Ces assistants de preuve peuvent être utilisés dans le cadre de la vérification formelle, où l'objectif est d'assurer la validité des résultats mathématiques en utilisant des méthodes rigoureuses.

API (Interface de Programmation Applicative): Ensemble de règles et de protocoles qui permettent à différents logiciels de communiquer entre eux. Elle définit les méthodes et les données qui peuvent être utilisées pour faciliter l'intégration de différentes applications ou systèmes informatiques.

Coq: Assistant de preuve interactif qui utilise la théorie des types dépendants. Il permet de spécifier des théorèmes, construire des preuves étape par étape, et de vérifier formellement que ces preuves sont correctes.

CoqIDE (Environnement de développement intégré Coq): Interface graphique conviviale pour Coq. Son objectif principal est de permettre aux utilisateurs d'éditer des scripts Coq et d'aller de l'avant et en arrière à travers eux.

jsCoq: Interface web pour l'assistant de preuve Coq. Il permet aux utilisateurs d'utiliser Coq directement dans un navigateur web sans nécessiter d'installation locale.

Preuve mathématique/Démonstration mathématique: Argument logique et rigoureux qui établit la vérité d'une proposition mathématique. L'objectif d'une preuve est de convaincre de manière indiscutable que la proposition en question est vraie. Les mathématiques reposent sur un ensemble de règles logiques strictes, et une preuve doit suivre ces règles pour être considérée comme valide.

Tableau de variation : Graphique permettant de définir la variation d'une fonction sur des intervalles.

Tactique : Étapes pour résoudre dans un assistant de preuve un problème mathématique. Elles décomposent le problème en petites parties afin de le rendre plus gérable et à construire progressivement une preuve cohérente. Issu de la méthode “Diviser pour mieux régner”.

1.2.Contexte

Pour mettre en contexte, les assistants à la preuve sont des outils généralement conçus pour des utilisateurs experts et nécessitent une formation au préalable et appropriée pour être utilisés efficacement.

L'enjeu global est d'intégrer ces assistants de preuve dans le domaine de l'enseignement des mathématiques de sorte à ce que les étudiants puissent passer le moins de temps possible sur l'apprentissage du logiciel et d'expérimenter concrètement, l'apport que celui-ci peut amener dans leur pratique.

La stratégie est d'intégrer des éléments graphiques, spécifiquement les tableaux de variation, largement utilisés dans l'enseignement mathématique, dans l'assistant de preuve Coq.

En résumé, on veut combler le fossé entre les approches traditionnelles de la preuve et les exigences formelles des assistants à la preuve, tout en enrichissant l'apprentissage par des représentations graphiques.

1.3.Historique

Les assistants de preuve existent depuis plus de 30 ans. Cependant, étant des logiciels peu connus jusqu'alors, ils ont été surtout utilisés par les chercheurs en informatique et non en mathématiques. De ce fait, de grands mathématiciens auraient voulu pouvoir utiliser ces assistants mais n'avaient pas la connaissance de leur existence. Plus tard, un engouement autour de ces assistants de preuve naît et le domaine d'utilisation s'élargit (informatique, mathématique, didactique,...).

Une question s'est alors posée : Et si on mettait des assistants de preuve dans les cours de mathématiques ? C'est dans le cadre de ce questionnement que s'inscrit notre projet issu de LiberAbaci ([Enseigner les mathématiques a l'aide de Coq](#)). Les objectifs principaux en sont pour résumer : l'amélioration de la logique, la création de bibliothèques, et l'intérêt pour la partie graphique. Notre TER s'inscrit dans l'intérêt pour la partie graphique incluant une tâche parmi les sept du projet LiberAbaci :

- Tâche 1 : Collaborations avec des enseignants
- Tâche 2 : Fondement de la théorie des types
- Tâche 3 : Structures, inférence et hiérarchie
- Tâche 4 : Notations extensibles et langage de surface
- Tâche 5 : Traitements automatiques
- **Tâche 6 : Environnement interactifs**
- Tâche 7 : Création de bibliothèque sur des domaines précis

Le but du projet est d'ajouter un registre graphique au logiciel via les tableaux de variations. Les tableaux de variation étant une notion dans le programme de mathématiques au lycée mais rappelée dans l'enseignement mathématique à l'université, vont permettre la facilité aux étudiants de refaire ce qu'ils connaissent déjà en utilisant l'assistant coq.

2. Description de la demande

2.1. Produit du projet

Nous devons créer une interface de programmation applicative (GUI) pour Coq. Ce GUI devrait permettre la possibilité de créer des tableaux de variations de manière interactive. D'un côté, l'utilisateur (enseignant et élèves qui ne sont pas experts de Coq) devrait pouvoir créer un tableau de variation de manière textuelle ou manière graphique. D'un autre côté, Coq devrait être en mesure de vérifier si ce tableau avec ses contenus sont cohérents et corrects.

2.2. Les objectifs

- _ Être capable de résoudre un exercice de mathématique via le logiciel (notamment un exercice sur les tableaux de variations).
- _ Permettre une interaction conviviale entre l'utilisateur et le logiciel.
- _ Pouvoir gérer les erreurs des étudiants (avec des retours graphiques).
- _ Maintenir le lien avec la preuve textuelle.

2.3. Les fonctions du produit

1. Mettre en place des tactiques textuellement pour réaliser un tableau de variation:

Les tactiques envisagées sont : "on veut démontrer que", "on pose", "on a", "on sait que", "on veut que". Les tactiques de coq sont codées en OCAML, dans ce langage nous pouvons donner à notre tactique le nom que l'on souhaite. Ces tactiques sont pour le moment temporaires mais peuvent être définitives. Elles ont été choisies car elles répondent au mieux au problème de résolution d'un tableau de variation.

2. Dresser un tableau de variation graphiquement

Principalement à l'aide de boutons et de zones d'édition, l'utilisateur devrait pouvoir effectuer les opérations suivantes pour dresser et compléter son tableau de variation.

- _ ajout de lignes et de colonnes (calculs intermédiaires, points d'intérêt)
- _ ajout d'information dans les cases (valeurs, signes, variations)

Tandis que le logiciel devrait pouvoir faire les opérations suivantes:

- _ validation des informations entrées

- _ Indication des éléments à prouver
- 3. Retour graphique sur les erreurs de l'utilisateur
 - 4.1 Affichage d'un symbole ("?" par exemple) sur les endroits où se trouvent les erreurs

Lorsque l'utilisateur fait des erreurs, l'interface devrait retourner une indication sur l'endroit où l'erreur se trouve. Cette indication devrait aider l'utilisateur et non le bloquer. On veut donc que celui-ci puisse poursuivre son raisonnement même s'il y a des erreurs (car une erreur peut être un manque d'informations par exemple).

4.2 Un bouton d'aide/de vérification d'erreurs

Il sera mis à disposition de l'utilisateur un bouton lui permettant de bénéficier d'une aide s'il en a besoin. Ainsi, il pourra décider de poursuivre sa démarche et ignorer les indications d'erreurs. Il pourra alors demander de l'aide (appuyer sur le bouton), seulement quand il estime en avoir besoin.

- 4. Permettre à l'utilisateur d'être libre dans sa démarche (démarche textuelle et/ou graphique)

Pour créer son tableau de variation, l'utilisateur (un étudiant par exemple) devrait pouvoir utiliser la partie textuelle et/ou la partie graphique du support selon ce qui lui semble adapté. Ceci a pour vocation de ne pas le forcer à adopter un raisonnement en particulier mais d'être dans une démarche libre le long de son apprentissage.

- 5. Implémentation de l'interface sur jsCoq

On souhaite pouvoir implémenter notre interface sur jsCoq afin de la standardiser. En effet, ce dernier se trouve sur le web et permet l'accès au public pour qu'il puisse bénéficier du même service avec les mêmes conditions contrairement à coqIDE qui nécessite une installation locale. Cela va permettre une utilisation moins complexe pour nos clients. Nous nous focaliserons ainsi sur la partie de jsCoq qui communique avec coq et nous en changerons l'interface.

3. Contraintes

3.1. Contraintes de délais

Nous devons rendre le produit final à la fin de notre TER, mi-juin 2024.

Entre-temps nous devons savoir si notre support satisfait les clients. Il devra alors être testé ou présenté dans une version alpha deux à trois semaines avant les partiels du second semestre qui seront en mi-mai.

3.2. Contraintes matérielles

Pour le bon fonctionnement du produit, les utilisateurs devront avoir besoin d'un ordinateur en état de marche et du support que nous allons leur fournir dans un premier lieu car le produit ne sera pas directement disponible sur jsCoq.

3.3. Autres contraintes

Il serait possible que l'on fasse des tests qui nécessitent la contribution de personnels enseignants et des étudiants en mathématiques.

4. Déroulement du projet

4.1. Planification

Dans un premier temps, nous avons dressé un diagramme d'échéance (Figure 1) que nous avons essayé de suivre dans cette première phase du projet. Cette première planification se divise en quatre parties :

1. Identifier l'objectif du projet
 - _ Qu'est-ce qu'on veut faire?
2. Comprendre le concept et l'utilisation de coq
 - _ A quoi sert Coq et comment on l'utilise?
3. Décortiquer Coq
 - _ Quelle est l'architecture de Coq?
 - _ Qu'est-ce qui pourrait nous intéresser dans Coq en tant que développeur?
 - _ Y a-t-il une partie sur laquelle on devrait porter plus d'attention par rapport au besoin du projet?
4. Faire un état de l'art sur les technologies et les méthodes existantes pour en prendre partie dans notre projet
 - _ Qu'est-ce qui se fait déjà et comment on pourrait l'adapter à notre projet?
 - _ Quelles technologies utiliser pour la création de l'interface?

Une fois ces quatre premières parties effectuées, nous devons nous mettre d'accord sur la structure de l'interface que l'on souhaite implémenter. En effet, nous avons proposé plusieurs modèles d'interfaces en fonction de ce qui est attendu ([annexe](#)). Ainsi, le choix final de l'interface se fera par élimination des modèles en fonction des possibilités et des

limites définies à l'issue de cette première phase du projet.

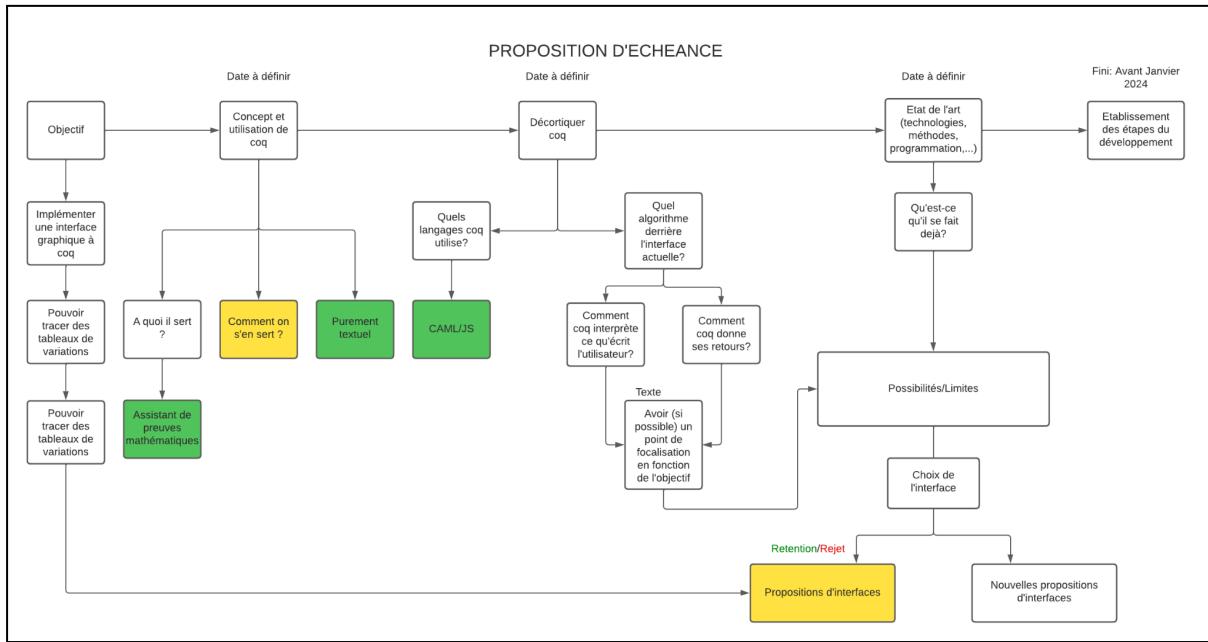


Figure 1 : Premier diagramme d'échéance et de tâches

La seconde planification concerne le développement du produit (voir document plan de développement).

4.2.Ressources

_ Etant donné que nos clients sont aussi nos encadrants, la première ressource est d'abord l'aide qu'ils nous apportent pour la compréhension aussi générale que dans les détails du projet.

_ Des réunions hebdomadaires puis à temps plein pour faire le point, discuter sur le projet, se proposer des idées et chercher des solutions.

_ Documentation sur les travaux déjà faits dans le cadre du projet (rapport de stage, poster, maquette de présentation, historique sur git,...)

_ Documentation sur les assistants de preuves, Coq et jsCoq.

_ Un bureau équipé de matériels adaptés (ordinateurs, tableaux blancs et feutres).

4.3.Organisation

Sur la période du 06/11/23 au 04/05/24 nous sommes présents deux demi-journées par semaine au bureau afin de travailler au plus proches de nos tuteurs. Et sur la période du 06/05/24 au 19/06/24 nous serons en temps plein dans notre bureau pour la même raison.

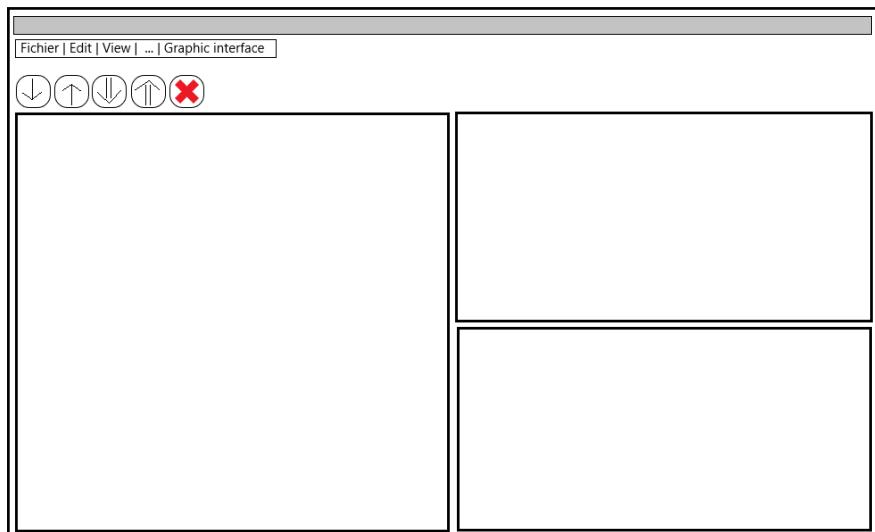
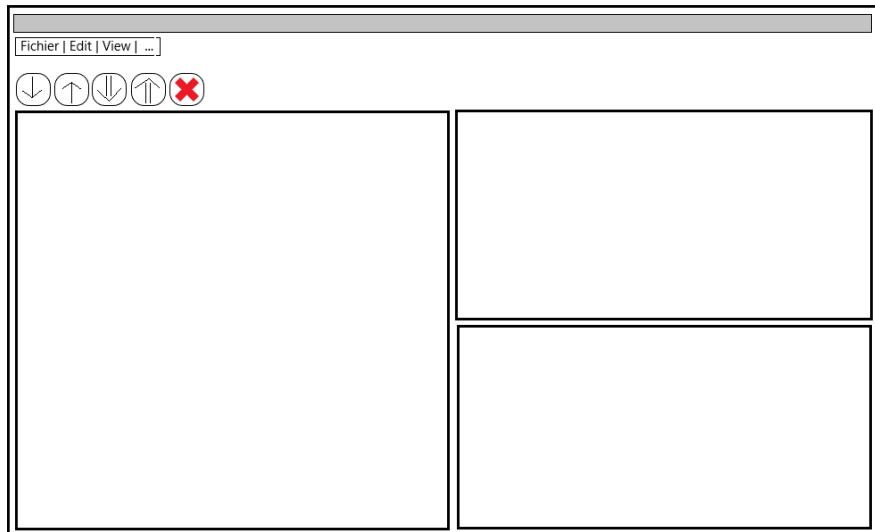
Pour un travail plus productif et performant nous utilisons la méthode Agile, qui consiste à écouter la demande de nos clients (nos tuteurs), de réaliser une version de la

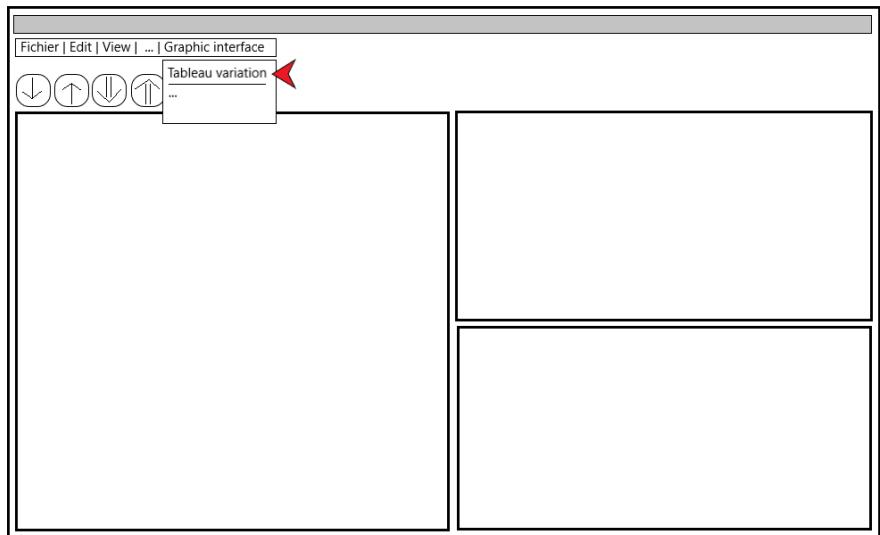
demande. Et avant d'aboutir à cette version nous leur faisons une présentation de cette dernière afin d'avoir un retour rapide, en général cela dure entre une et deux semaines. Cela permet de rebondir rapidement sur la demande du client tout en minimisant le coût de production. Par la suite de ce cahier des charges vous pouvez voir les différentes maquettes proposées et ainsi une des modifications proposées suite à des feedbacks de nos tuteurs.

5. Annexes

5.1. Première proposition de l'interface graphique et simulation d'interaction (version 0)

Les images ci-dessous représentent la première interface graphique et un scénario permettant de simuler une interaction avec cette dernière que nous avons proposée à nos tuteurs en fonction des demandes qui nous ont été confiées.





Fichier | Edit | View | ... | Graphic interface

Tableau variation

x	-inf	(+)	0	(+)	+inf	
f'(x)	(+)	-	(+)	0	(+)	(+)
f(x)			(+)			
	(+)					

f(x) =

[zone de commande de l'élève]

[zone de retour de coq]

Fichier | Edit | View | ... | Graphic interface

Tableau variation

x	-inf	(+)	0	(+)	+inf	
f'(x)	(+)	-	(+)	0	(+)	(+)
f(x)			(+)			
	(+)					

f(x) = $6x^2+4x-9$

[zone de commande de l'élève]

Function is ok (retour positif de coq)

Fichier | Edit | View | ... | Graphic interface

$f(x) = 6x^2 + 4x - 9$

[zone de commande de l'élève]

Function is ok (retour positif de coq)

x	-inf	0	+inf		
$f'(x)$	+	-	0	+	+
$f''(x)$	+	?	0	+	+
(+)					

Fichier | Edit | View | ... | Graphic interface

$f(x) = 6x^2 + 4x - 9$

enumération de propriété que la fonction est concave ou convexe en fonction du signe de x^n quand n est paire

Function is ok (retour positif de coq)

x	-inf	0	+inf		
$f'(x)$	+	-	0	+	+
$f''(x)$	+	?	0	+	+
(+)					

Fichier | Edit | View | ... | Graphic interface

$f(x) = 6x^2 + 4x - 9$

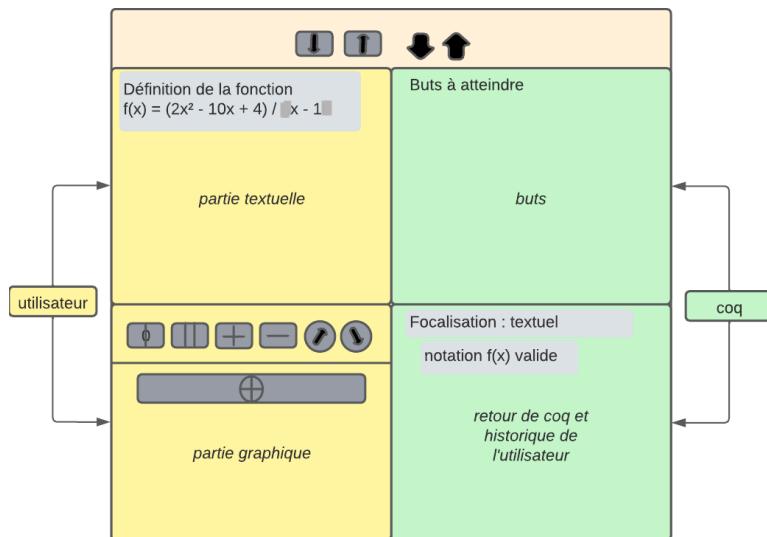
...

Function is ok (retour positif de coq)
3 erreurs

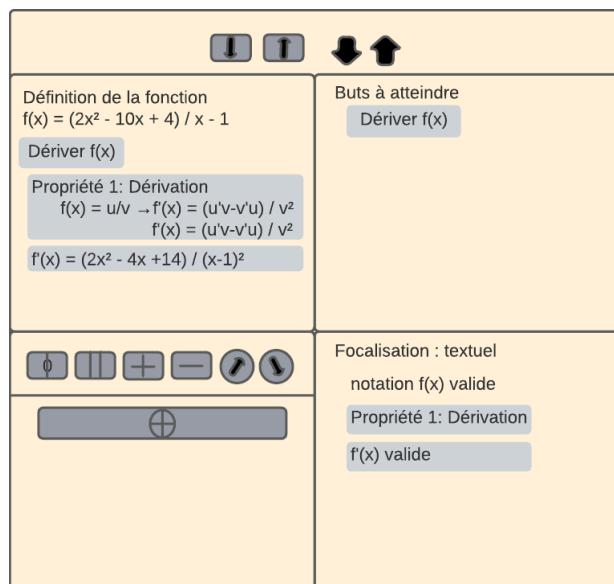
x	-inf	0?	+inf		
$f'(x)$	+	-?	0	+	+
$f''(x)$	+	?	0	+	+
(+)					

5.2. Seconde proposition de l'interface graphique et simulation d'interaction (version 1)

L'images ci-dessous représentent la structure de la seconde interface graphique



Les images ci-dessous sont un scénario permettant de simuler une interaction avec cette dernière que nous avons proposée à nos tuteurs en fonction des demandes qui nous ont été confiées.



	
<p>...</p> <p>Signes $f'(x)$</p> <p>Extremums</p> <p>numérateur = $(2x^2 - 10x + 4)$</p> <p>Propriété 2: Solutions polynôme de degré 2</p> <p>Delta numérateur = 68 numérateur = 2 solutions</p>	<p>Buts à atteindre</p> <p>Dériver $f(x)$</p> <p>Signes $f'(x)$</p> <p>Extremums</p>
 	<p>Focalisation : textuel</p> <p>notation $f(x)$ valide</p> <p>Propriété 1: Dérivation</p> <p>$f'(x)$ valide</p> <p>Propriété 2: Solutions polynôme de degré 2</p>

	
<p>...</p> <p>Signes $f'(x)$</p> <p>Extremums</p> <p>...</p> <p>Propriété 3: Calcul racines polynôme de degré 2</p> <p>$x_1 = [-4^2 - \text{racine}(68)] / 4$ = -3.06</p> <p>$x_2 = [-4^2 + \text{racine}(68)] / 4$ = 1.06</p>	<p>Buts à atteindre</p> <p>Dériver $f(x)$</p> <p>Signes $f'(x)$</p> <p>Extremums</p>
 	<p>Focalisation : textuel</p> <p>...</p> <p>Propriété 3: Calcul racines polynôme de degré 2</p> <p>x_1 valide</p> <p>x_2 valide</p>

	
<p>...</p> <p>...</p> <p>Signes numérateur</p> <p>Propriété 4: Signes polynôme de degré 2</p> <p>signe de $-a \rightarrow$ int racine</p> <p>signe de $a \rightarrow$ ext racine</p> <p>$[x_1; x_2]$: positif</p> <p>$] -\infty; x_1[\cup]x_2; +\infty[$: négatif</p>	<p>Buts à atteindre</p> <p>Dériver $f(x)$</p> <p>Signes $f'(x)$</p> <p>Extremums</p> <p>Signes numérateur</p>
  	<p>Focalisation : textuel</p> <p>...</p> <p>Propriété 4: Signes polynôme de degré 2</p> <p>$[x_1; x_2]$: positif OK</p> <p>$] -\infty; x_1[\cup]x_2; +\infty[$: négatif OK</p> <p>Focalisation : graphique</p> <p>Domaine de définition $\{-\infty; +\infty\}$</p> <p>Ajout fonction $2x^2-10x+4$</p>

↓ ↑

<p>...</p> <p>... Signes numérateur Propriété 4: Signes polynôme de degré 2 signe de $-a \rightarrow$ int racine signe de $a \rightarrow$ ext racine $[x_1; x_2]$: positif $] -\infty; x_1 [\cup] x_2; +\infty [$: négatif</p>	<p>Buts à atteindre</p> <ul style="list-style-type: none"> Dériver $f(x)$ Signes $f'(x)$ Extremums Signes numérateur 															
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse; width: fit-content;"> <thead> <tr> <th style="padding: 2px;">x</th> <th style="padding: 2px;">-inf</th> <th style="padding: 2px;">-3.06</th> <th style="padding: 2px;">1.06</th> <th style="padding: 2px;">+inf</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">$2x^2 - 10x + 4$</td> <td style="padding: 2px;">-</td> <td style="padding: 2px;">0</td> <td style="padding: 2px;">+</td> <td style="padding: 2px;">0</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center; padding: 2px;">\oplus</td> </tr> </tbody> </table>		x	-inf	-3.06	1.06	+inf	$2x^2 - 10x + 4$	-	0	+	0	\oplus				
x	-inf	-3.06	1.06	+inf												
$2x^2 - 10x + 4$	-	0	+	0												
\oplus																
<p>Focalisation : textuel ...</p> <p>Focalisation : graphique Domaine de définition $(-\infty; +\infty)$</p> <p>Ajout fonction $2x^2 - 10x + 4$</p> <p>Ajout valeurs x</p> <p>Ajout marques extrêmes</p> <p>Ajout signes fonction $2x^2 - 10x + 4$</p>																

↓ ↑

<p>...</p> <p>... Signes dénominateur dénominateur = $(x-1)^2$ Propriété 5: Signe fonction carrée $[-\infty; +\infty]$: positif</p>	<p>Buts à atteindre</p> <ul style="list-style-type: none"> Dériver $f(x)$ Signes $f'(x)$ Extremums Signes numérateur Signes dénominateur 															
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse; width: fit-content;"> <thead> <tr> <th style="padding: 2px;">x</th> <th style="padding: 2px;">-inf</th> <th style="padding: 2px;">-3.06</th> <th style="padding: 2px;">1.06</th> <th style="padding: 2px;">+inf</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">$2x^2 - 10x + 4$</td> <td style="padding: 2px;">-</td> <td style="padding: 2px;">0</td> <td style="padding: 2px;">+</td> <td style="padding: 2px;">0</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center; padding: 2px;">\oplus</td> </tr> </tbody> </table>		x	-inf	-3.06	1.06	+inf	$2x^2 - 10x + 4$	-	0	+	0	\oplus				
x	-inf	-3.06	1.06	+inf												
$2x^2 - 10x + 4$	-	0	+	0												
\oplus																
<p>Focalisation : textuel ...</p> <p>Focalisation : graphique ...</p> <p>Focalisation : textuel ...</p> <p>Propriété 5: Signe fonction carrée</p> <p>$[-\infty; +\infty]$: positif OK</p>																

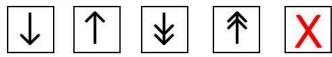
↓ ↑

<p>...</p> <p>... Signes dénominateur dénominateur = $(x-1)^2$ Propriété 5: Signe fonction carrée $[-\infty; +\infty]$: positif</p>	<p>Buts à atteindre</p> <ul style="list-style-type: none"> Dériver $f(x)$ Signes $f'(x)$ Extremums Signes numérateur Signes dénominateur 																				
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse; width: fit-content;"> <thead> <tr> <th style="padding: 2px;">x</th> <th style="padding: 2px;">-inf</th> <th style="padding: 2px;">-3.06</th> <th style="padding: 2px;">1.06</th> <th style="padding: 2px;">+inf</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">$2x^2 - 10x + 4$</td> <td style="padding: 2px;">-</td> <td style="padding: 2px;">0</td> <td style="padding: 2px;">+</td> <td style="padding: 2px;">0</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$(x-1)^2$</td> <td colspan="4" style="text-align: center; padding: 2px;">+</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center; padding: 2px;">\oplus</td> </tr> </tbody> </table>		x	-inf	-3.06	1.06	+inf	$2x^2 - 10x + 4$	-	0	+	0	$(x-1)^2$	+				\oplus				
x	-inf	-3.06	1.06	+inf																	
$2x^2 - 10x + 4$	-	0	+	0																	
$(x-1)^2$	+																				
\oplus																					
<p>Focalisation : textuel ...</p> <p>Focalisation : graphique ...</p> <p>Ajout fonction $(x-1)^2$</p> <p>Ajout signe fonction $(x-1)^2$</p>																					

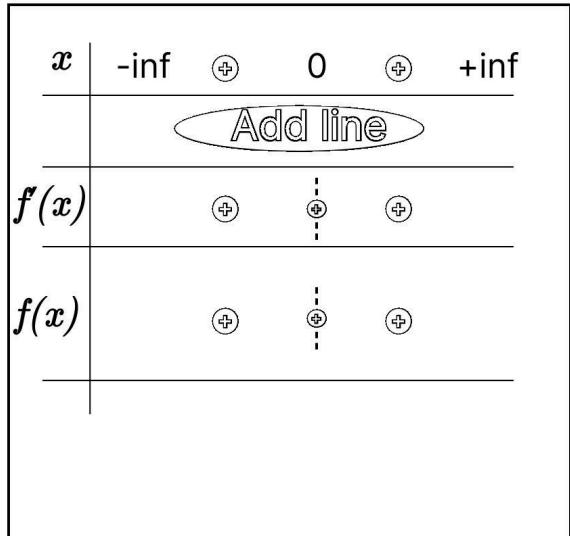
 	 																																		
<p>...</p> <p>...</p> <p>Signes $f'(x)$</p> <p>Propriété 6: Signe de division</p> <p>$[-\infty ; -3.06]$: négatif</p> <p>$[-3.06 ; 1.06]$: positif</p> <p>$[1.06 ; +\infty]$: négatif</p>	<p>Buts à atteindre</p> <p>Dériver $f(x)$</p> <p>Signes $f'(x)$</p> <p>Extremums</p> <p>Signes numérateur</p> <p>Signes dénominateur</p>																																		
<p></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">x</td> <td style="padding: 2px;">-inf</td> <td style="padding: 2px;">-3.06</td> <td style="padding: 2px;">1.06</td> <td style="padding: 2px;">+inf</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$2x^2-10x+4$</td> <td style="padding: 2px;">-</td> <td style="padding: 2px;">0</td> <td style="padding: 2px;">+</td> <td style="padding: 2px;">0</td> <td style="padding: 2px;">-</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$(x-1)^2$</td> <td colspan="4" style="padding: 2px; text-align: center;">+</td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center; padding: 2px;">\oplus</td> </tr> </table>	x	-inf	-3.06	1.06	+inf	$2x^2-10x+4$	-	0	+	0	-	$(x-1)^2$	+					\oplus						<p>Focalisation : graphique</p> <p>...</p> <p>Focalisation : textuel</p> <p>Propriété 6: Signe de division</p> <p>$[-\infty ; -3.06]$: négatif OK</p> <p>$[-3.06 ; 1.06]$: positif OK</p> <p>$[1.06 ; +\infty]$: négatif OK</p>											
x	-inf	-3.06	1.06	+inf																															
$2x^2-10x+4$	-	0	+	0	-																														
$(x-1)^2$	+																																		
\oplus																																			
 	 																																		
		<p>Focalisation : graphique</p> <p>Ajout fonction $f'(x)$</p> <p>Ajout marques extremum $f'(x)$</p> <p>Ajout signes $f'(x)$</p> <p>Ajout fonction $f(x)$</p> <p>Ajout valeurs extremum $f(x)$</p> <p>Ajout variations $f(x)$</p>																																	
<p></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">x</td> <td style="padding: 2px;">-inf</td> <td style="padding: 2px;">-3.06</td> <td style="padding: 2px;">1.06</td> <td style="padding: 2px;">+inf</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$2x^2-10x+4$</td> <td style="padding: 2px;">-</td> <td style="padding: 2px;">0</td> <td style="padding: 2px;">+</td> <td style="padding: 2px;">0</td> <td style="padding: 2px;">-</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$(x-1)^2$</td> <td colspan="4" style="padding: 2px; text-align: center;">+</td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$f'(x)$</td> <td style="padding: 2px;">-</td> <td style="padding: 2px;">0</td> <td style="padding: 2px;">+</td> <td style="padding: 2px;">0</td> <td style="padding: 2px;">-</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">$f(x)$</td> <td colspan="4" style="padding: 2px; text-align: center;">  </td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center; padding: 2px;">$f(-3.06) \quad f(1.06)$</td> </tr> </table>	x	-inf	-3.06	1.06	+inf	$2x^2-10x+4$	-	0	+	0	-	$(x-1)^2$	+					$f'(x)$	-	0	+	0	-	$f(x)$						$f(-3.06) \quad f(1.06)$					
x	-inf	-3.06	1.06	+inf																															
$2x^2-10x+4$	-	0	+	0	-																														
$(x-1)^2$	+																																		
$f'(x)$	-	0	+	0	-																														
$f(x)$																																			
$f(-3.06) \quad f(1.06)$																																			

5.3. Amélioration de la première proposition de l'interface graphique et simulation d'interaction (version 0.1)

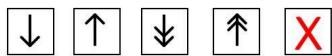
Les images ci-dessus représentent la première interface graphique modifiée suite à un retour de nos tuteurs. Un scénario permettant de simuler une interaction avec cette dernière que nous avons proposée à nos tuteurs en fonction des demandes qui nous ont été confiées.



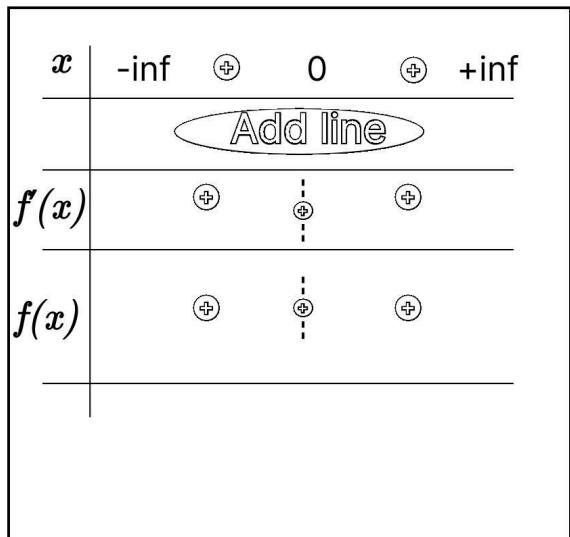
?



$f(x) =:$



?



$f(x) =: (2x^2-10x+4)/(x-1)$

. $f'(x) = (2x^2-4x+6)/(x-1)^2$

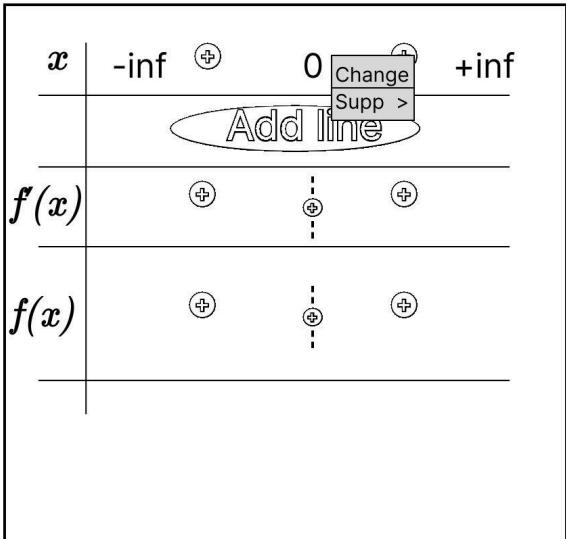
. La dérivé de la fonction admet une ou plusieurs Valeur.s Interdite.s car il a une inconnue au dénominateur

. D'après la dérivé la.es valeur.s interdite.s est.sont : 1

. Fonction is ok



?

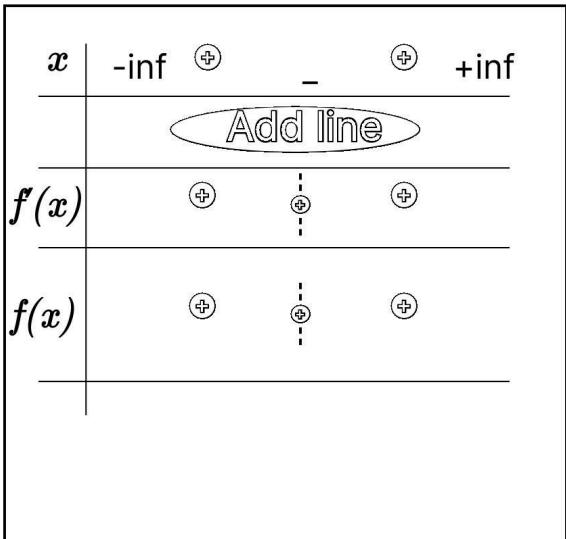


$$f(x) =: (2x^2 - 10x + 4)/(x-1)$$

- . $f'(x) = (2x^2 - 4x + 6)/(x-1)^2$
- . La dérivé de la fonction admet une ou plusieurs Valeur.s Interdite.s car il a une inconnue au dénominateur
- . D'après la dérivé la.es valeur.s interdite.s est.sont : 1



?

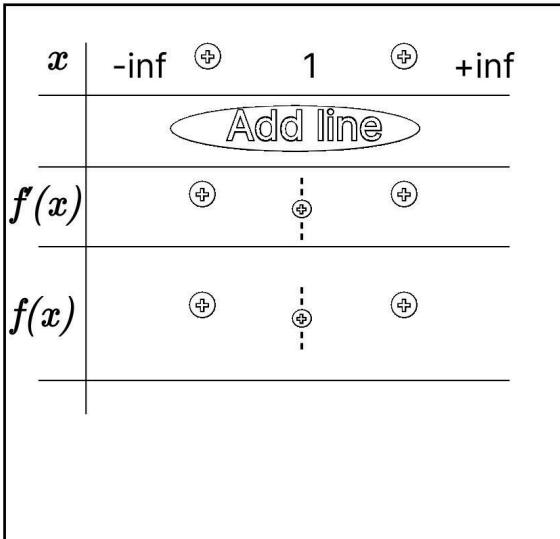


$$f(x) =: (2x^2 - 10x + 4)/(x-1)$$

- . $f'(x) = (2x^2 - 4x + 6)/(x-1)^2$
- . La dérivé de la fonction admet une ou plusieurs Valeur.s Interdite.s car il a une inconnue au dénominateur
- . D'après la dérivé la.es valeur.s interdite.s est.sont : 1



?

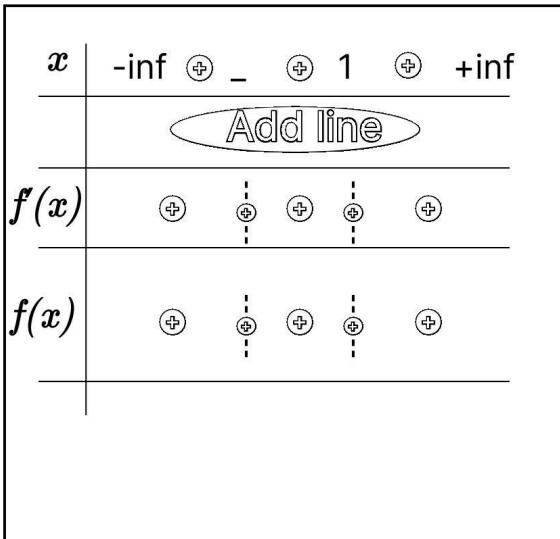


$$f(x) =: (2x^2 - 10x + 4)/(x-1)$$

- . $f'(x) = (2x^2 - 4x + 6)/(x-1)^2$
- . La dérivé de la fonction admet une ou plusieurs Valeur.s Interdite.s car il a une inconnue au dénominateur
- . D'après la dérivé la.es valeur.s interdite.s est.sont : 1
- . La dérivé peut admettre des racine car au numérateur il y a une inconnue
- . Une racine existe pour cette dérivé de fonction qui est $1-V(2)$



?

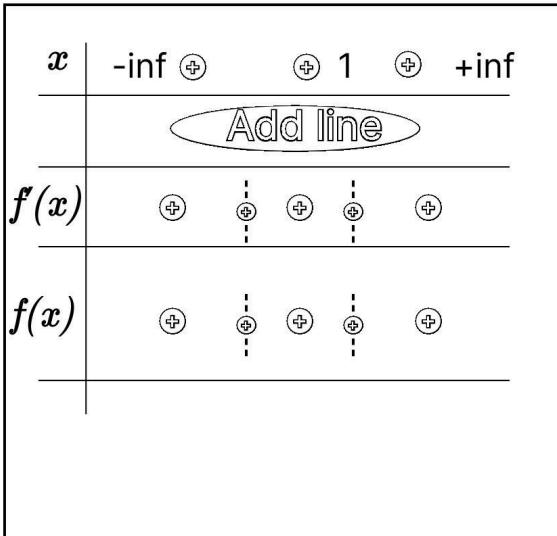


$$f(x) =: (2x^2 - 10x + 4)/(x-1)$$

- . $f'(x) = (2x^2 - 4x + 6)/(x-1)^2$
- . La dérivé de la fonction admet une ou plusieurs Valeur.s Interdite.s car il a une inconnue au dénominateur
- . D'après la dérivé la.es valeur.s interdite.s est.sont : 1
- . La dérivé peut admettre des racine car au numérateur il y a une inconnue
- . Une racine existe pour cette dérivé de fonction qui est $1-V(2)$



?

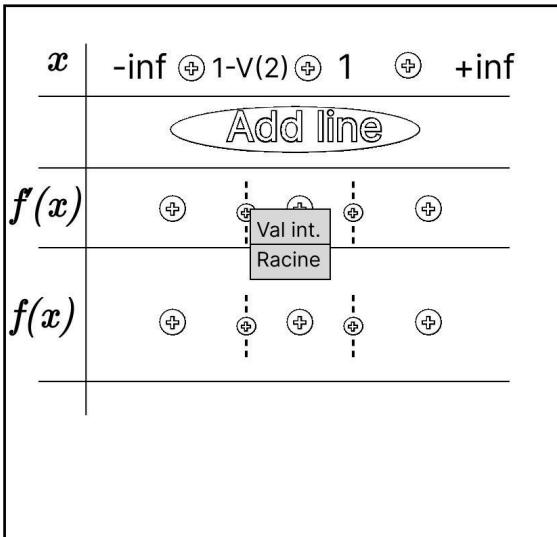


$$f(x) =: (2x^2 - 10x + 4)/(x-1)$$

- . $f'(x) = (2x^2 - 4x + 6)/(x-1)^2$
- . La dérivé de la fonction admet une ou plusieurs Valeur.s Interdite.s car il a une inconnue au dénominateur
- . D'après la dérivé la.es valeur.s interdite.s est.sont : 1
- . La dérivé peut admettre des racine car au numérateur il y a une inconnue
- . Une racine existe pour cette dérivé de fonction qui est $1-V(2)$



?

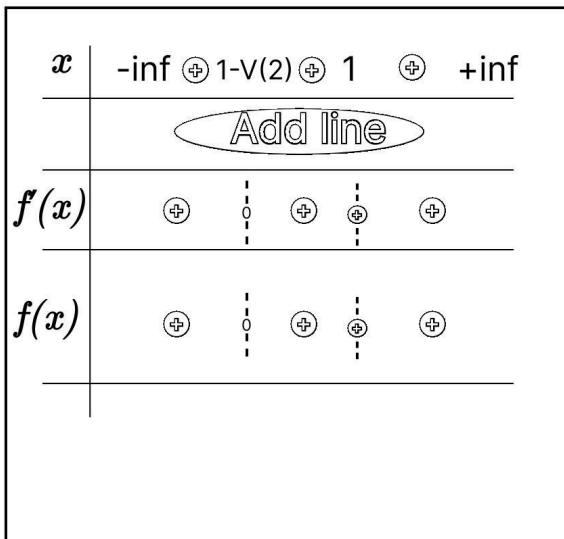


$$f(x) =: (2x^2 - 10x + 4)/(x-1)$$

- . $f'(x) = (2x^2 - 4x + 6)/(x-1)^2$
- . La dérivé de la fonction admet une ou plusieurs Valeur.s Interdite.s car il a une inconnue au dénominateur
- . D'après la dérivé la.es valeur.s interdite.s est.sont : 1
- . La dérivé peut admettre des racine car au numérateur il y a une inconnue
- . Une racine existe pour cette dérivé de fonction qui est $1-V(2)$



?

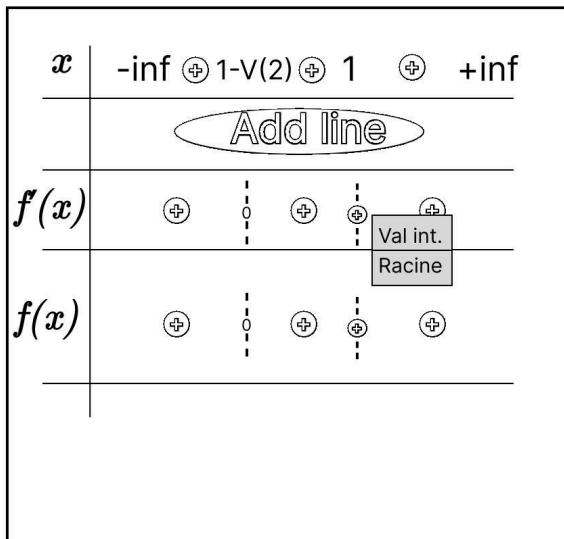


$$f(x) =: (2x^2 - 10x + 4)/(x-1)$$

- . $f'(x) = (2x^2 - 4x + 6)/(x-1)^2$
- . La dérivé de la fonction admet une ou plusieurs Valeur.s Interdite.s car il a une inconnue au dénominateur
- . D'après la dérivé la.es valeur.s interdite.s est.sont : 1
- . La dérivé peut admettre des racine car au numérateur il y a une inconnue
- . Une racine existe pour cette dérivé de fonction qui est $1-V(2)$



?

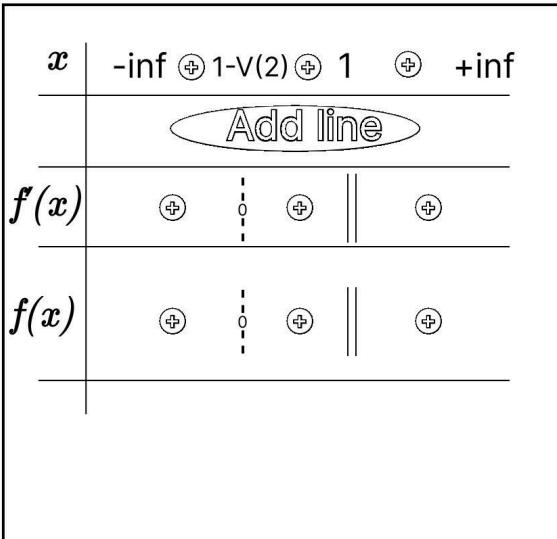


$$f(x) =: (2x^2 - 10x + 4)/(x-1)$$

- . $f'(x) = (2x^2 - 4x + 6)/(x-1)^2$
- . La dérivé de la fonction admet une ou plusieurs Valeur.s Interdite.s car il a une inconnue au dénominateur
- . D'après la dérivé la.es valeur.s interdite.s est.sont : 1
- . La dérivé peut admettre des racine car au numérateur il y a une inconnue
- . Une racine existe pour cette dérivé de fonction qui est $1-V(2)$



?

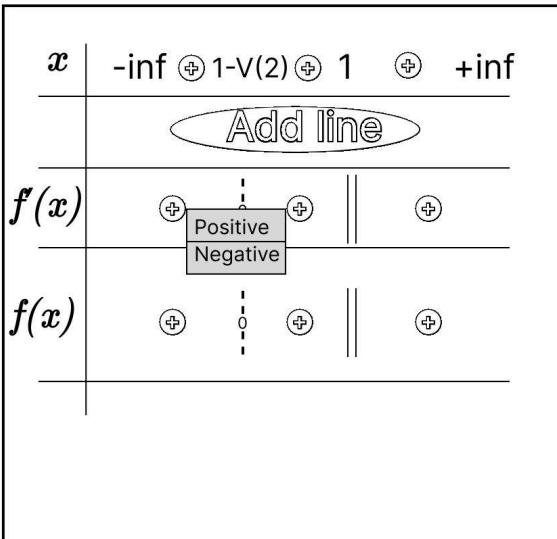


$$f(x) =: (2x^2 - 10x + 4)/(x-1)$$

- . $f'(x) = (2x^2 - 4x + 6)/(x-1)^2$
- . La dérivé de la fonction admet une ou plusieurs Valeur.s Interdite.s car il a une inconnue au dénominateur
- . D'après la dérivé la.es valeur.s interdite.s est.sont : 1
- . La dérivé peut admettre des racine car au numérateur il y a une inconnue
- . Une racine existe pour cette dérivé de fonction qui est $1 - \sqrt{2}$



?

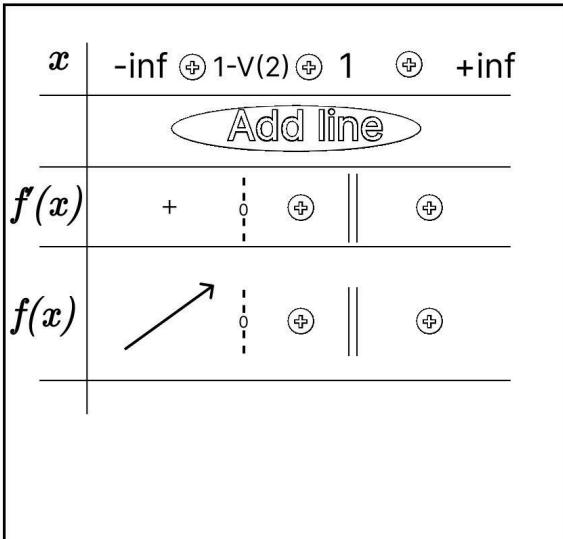


$$f(x) =: (2x^2 - 10x + 4)/(x-1)$$

-
- . Le dénominateur est positif car la fonction carré le prend entièrement
- . Le numérateur est un polynôme paire avec un coefficient positif donc les signes extrêmes de la dérivé est positif, et le signe entre est négatif



?



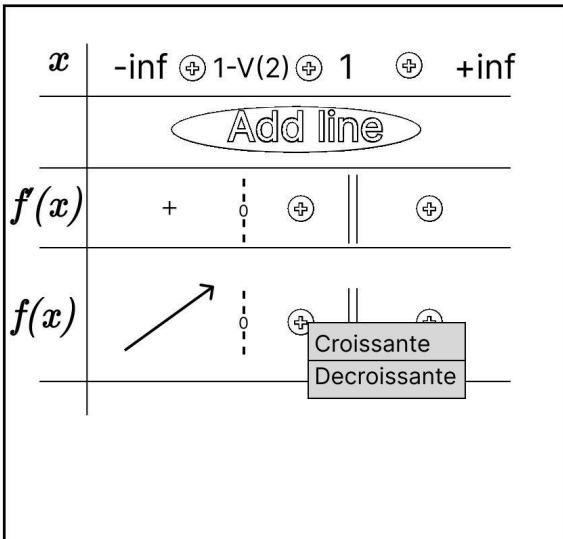
$$f(x) =: (2x^2 - 10x + 4)/(x-1)$$

....

- . Le dénominateur est positif car la fonction carré le prend entièrement
- . Le numérateur est un polynôme paire avec un coefficient positif donc les signes extrêmes de la dérivé est positif, et le signe entre est négatif



?



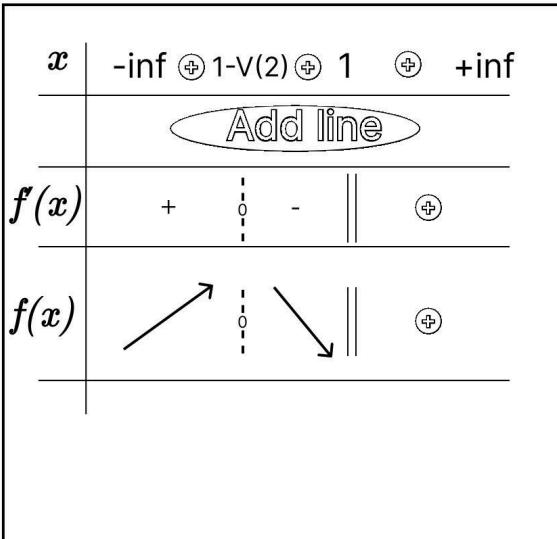
$$f(x) =: (2x^2 - 10x + 4)/(x-1)$$

....

- . Le dénominateur est positif car la fonction carré le prend entièrement
- . Le numérateur est un polynôme paire avec un coefficient positif donc les signes extrêmes de la dérivé est positif, et le signe entre est négatif



?



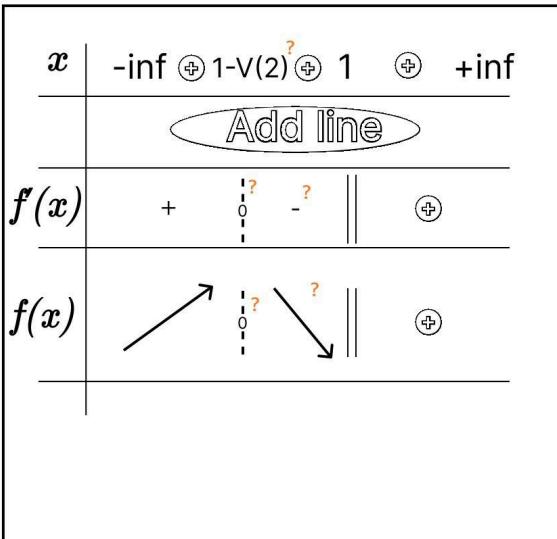
$$f(x) := (2x^2 - 10x + 4)/(x-1)$$

....

- . Le dénominateur est positif car la fonction carré le prend entièrement
- . Le numérateur est un polynôme paire avec un coefficient positif donc les signes extrêmes de la dérivée sont positifs, et le signe entre est négatif



?



$$f(x) := (2x^2 - 10x + 4)/(x-1)$$

....

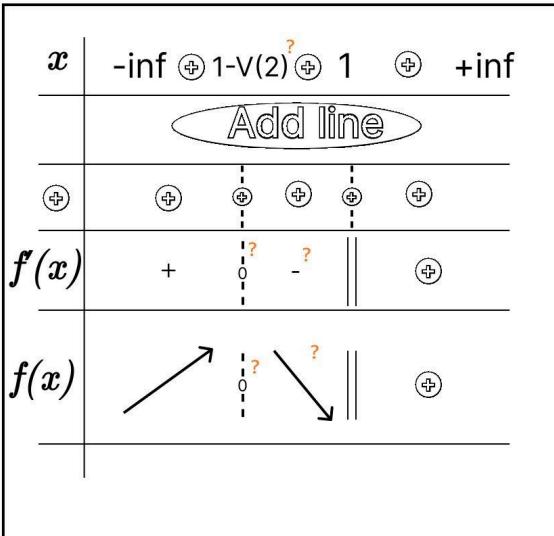
- . Le dénominateur est positif car la fonction carré le prend entièrement
- . Le numérateur est un polynôme paire avec un coefficient positif donc les signes extrêmes de la dérivée sont positifs, et le signe entre est négatif

Coq a trouvé 5 incompréhensions

- (1) : cette valeur n'est ni racine ni VI
- (2) : Ici le coeff directeur de la dérivée n'est pas nul
- (3) : Ici le coeff directeur de la dérivée n'est pas négative
- (4) : Ici le fonction ne passe pas par 0
- (5) : Ici le fonction n'est pas décroissante



?



$$f(x) := (2x^2 - 10x + 4)/(x-1)$$

....

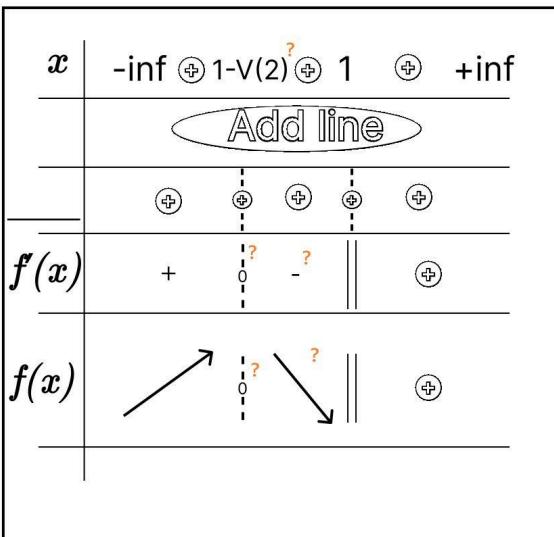
- . Le dénominateur est positif car la fonction carré le prend entièrement
- . Le numérateur est un polynôme paire avec un coefficient positif donc les signes extrêmes de la dérivée sont positifs, et le signe entre est négatif

Coq a trouvé 5 incompréhensions

- (1) : cette valeur n'est ni racine ni VI
- (2) : Ici le coeff directeur de la dérivée n'est pas nul
- (3) : Ici le coeff directeur de la dérivée n'est pas négative
- (4) : Ici la fonction ne passe pas par 0
- (5) : Ici la fonction n'est pas décroissante



?



$$f(x) := (2x^2 - 10x + 4)/(x-1)$$

....

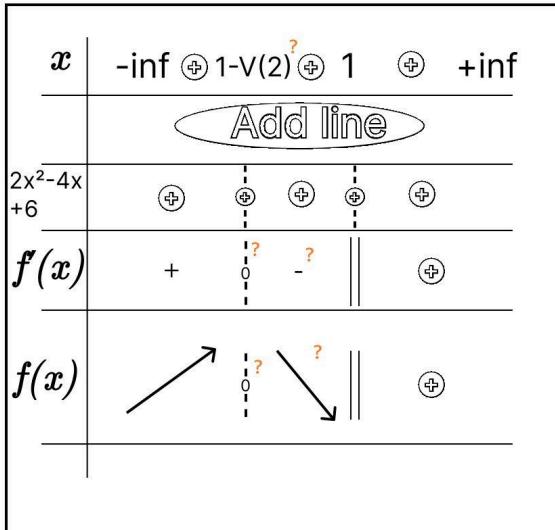
- . Le dénominateur est positif car la fonction carré le prend entièrement
- . Le numérateur est un polynôme paire avec un coefficient positif donc les signes extrêmes de la dérivée sont positifs, et le signe entre est négatif

Coq a trouvé 5 incompréhensions

- (1) : cette valeur n'est ni racine ni VI
- (2) : Ici le coeff directeur de la dérivée n'est pas nul
- (3) : Ici le coeff directeur de la dérivée n'est pas négative
- (4) : Ici la fonction ne passe pas par 0
- (5) : Ici la fonction n'est pas décroissante



?



$$f(x) := (2x^2 - 10x + 4)/(x-1)$$

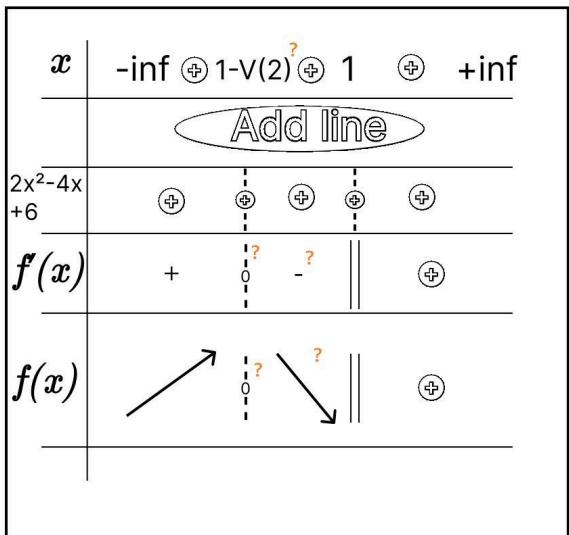
....

- . Le dénominateur est positif car la fonction carré le prend entièrement
- . Le numérateur est un polynôme paire avec un coefficient positif donc les signes extrêmes de la dérivée sont positifs, et le signe entre est négatif



Remove "?"
Verification

?



$$f(x) := (2x^2 - 10x + 4)/(x-1)$$

....

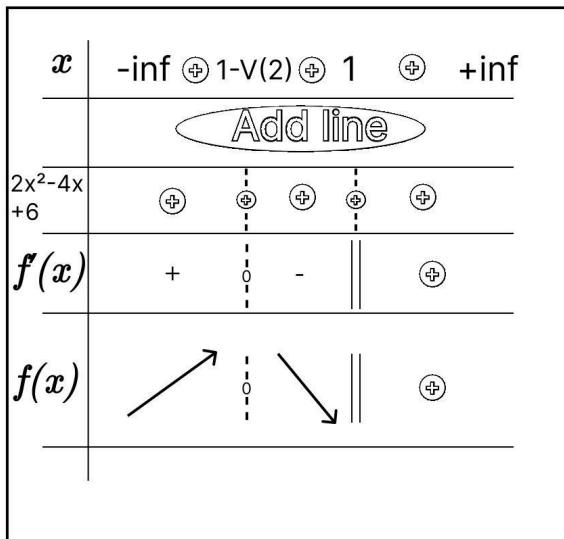
- . Le dénominateur est positif car la fonction carré le prend entièrement
- . Le numérateur est un polynôme paire avec un coefficient positif donc les signes extrêmes de la dérivée sont positifs, et le signe entre est négatif

Coq a trouvé 5 incompréhensions

- (1) : cette valeur n'est ni racine ni VI
- (2) : Ici le coeff directeur de la dérivée n'est pas nul
- (3) : Ici le coeff directeur de la dérivée n'est pas négatif
- (4) : Ici le fonction ne passe pas par 0
- (5) : Ici le fonction n'est pas décroissante



?



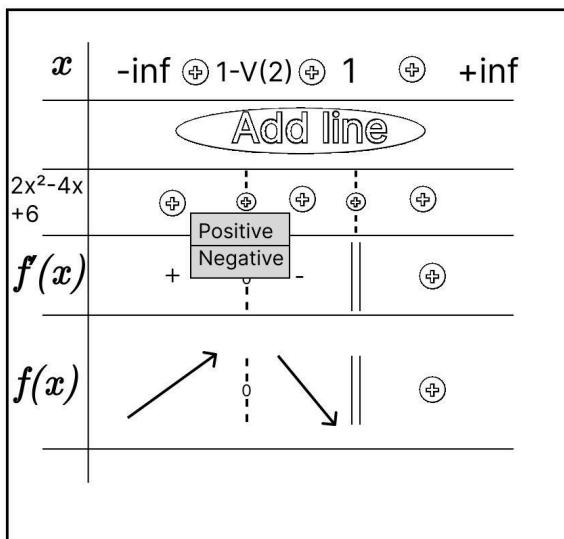
$$f(x) := (2x^2 - 10x + 4)/(x - 1)$$

....

- . Le dénominateur est positif car la fonction carré le prend entièrement
- . Le numérateur est un polynôme paire avec un coefficient positif donc les signes extrêmes de la dérivée sont positifs, et le signe entre est négatif



?



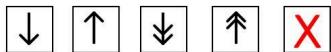
$$f(x) := (2x^2 - 10x + 4)/(x - 1)$$

....

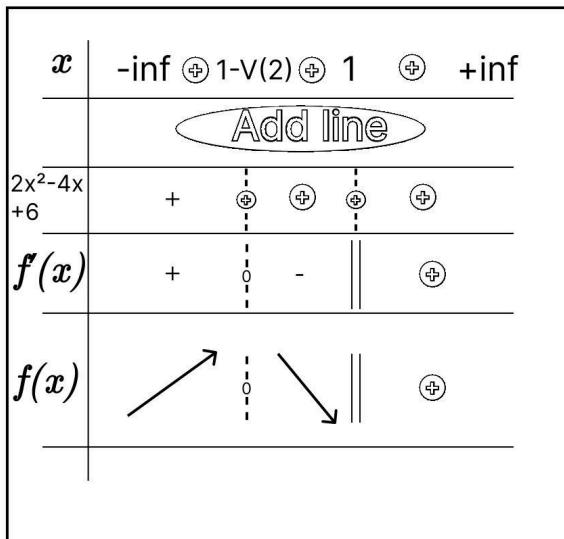
- . Le dénominateur est positif car la fonction carré le prend entièrement
- . Le numérateur est un polynôme paire avec un coefficient positif donc les signes extrêmes de la dérivée sont positifs, et le signe entre est négatif

Coq a trouvé 5 incompréhensions

- (1) : cette valeur n'est ni racine ni VI
- (2) : Ici le coeff directeur de la dérivé n'est pas nul
- (3) : Ici le coeff directeur de la dérivé n'est pas négative
- (4) : Ici le fonction ne passe pas par 0
- (5) : Ici le fonction n'est pas décroissante



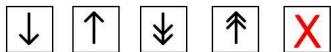
?



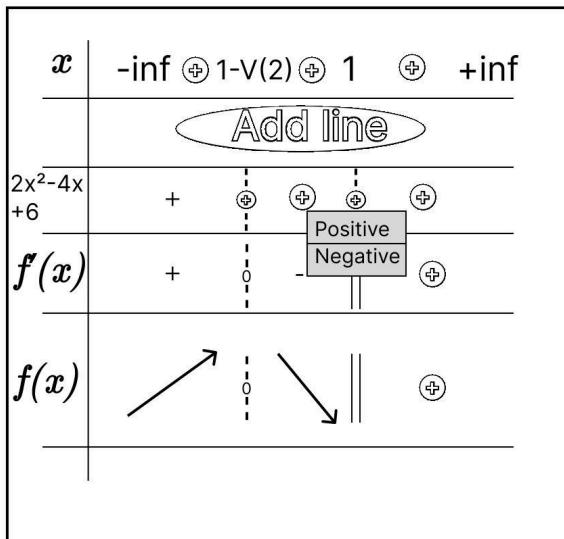
$$f(x) := (2x^2 - 10x + 4)/(x - 1)$$

....

- . Le dénominateur est positif car la fonction carré le prend entièrement
- . Le numérateur est un polynôme paire avec un coefficient positif donc les signes extrêmes de la dérivée sont positifs, et le signe entre est négatif



?



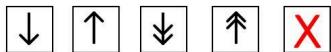
$$f(x) := (2x^2 - 10x + 4)/(x - 1)$$

....

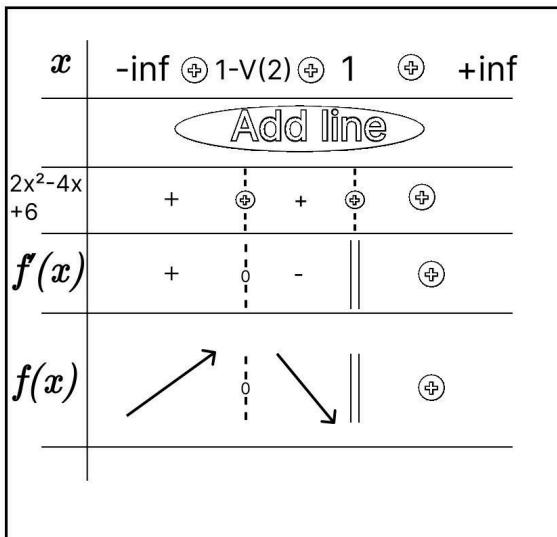
- . Le dénominateur est positif car la fonction carré le prend entièrement
- . Le numérateur est un polynôme paire avec un coefficient positif donc les signes extrêmes de la dérivée sont positifs, et le signe entre est négatif

Coq a trouvé 5 incompréhensions

- (1) : cette valeur n'est ni racine ni VI
- (2) : Ici le coeff directeur de la dérivé n'est pas nul
- (3) : Ici le coeff directeur de la dérivé n'est pas négative
- (4) : Ici le fonction ne passe pas par 0
- (5) : Ici le fonction n'est pas décroissante



?



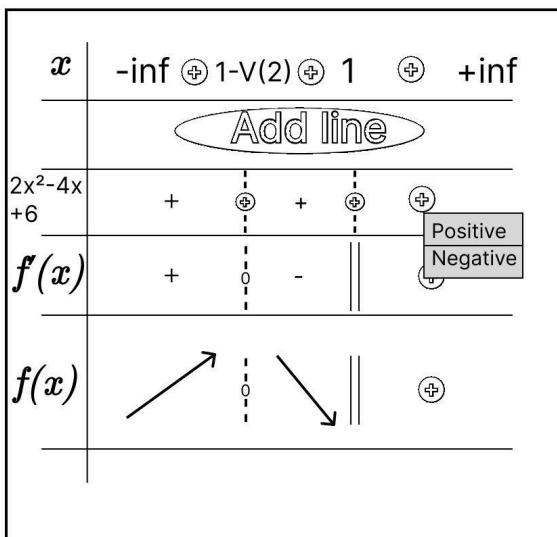
$$f(x) =: (2x^2 - 10x + 4)/(x-1)$$

....

- . Le dénominateur est positif car la fonction carré le prend entièrement
- . Le numérateur est un polynôme paire avec un coefficient positif donc les signes extrêmes de la dérivée sont positifs, et le signe entre est négatif
- . Le delta du polynôme est positif donc pas de racine et donc le polynôme est strictement positif



?



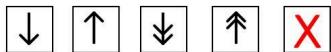
$$f(x) =: (2x^2 - 10x + 4)/(x-1)$$

....

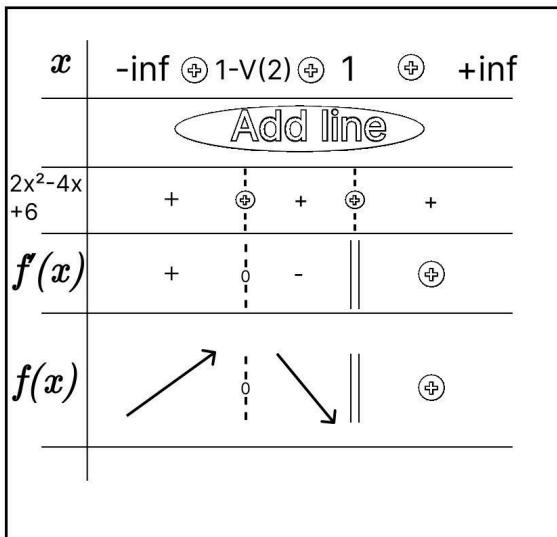
- . Le dénominateur est positif car la fonction carré le prend entièrement
- . Le numérateur est un polynôme paire avec un coefficient positif donc les signes extrêmes de la dérivée sont positifs, et le signe entre est négatif
- . Le delta du polynôme est positif donc pas de racine et donc le polynôme est strictement positif

Coq a trouvé 5 incompréhensions

- (1) : cette valeur n'est ni racine ni VI
- (2) : Ici le coeff directeur de la dérivé n'est pas nul
- (3) : Ici le coeff directeur de la dérivé n'est pas négative
- (4) : Ici le fonction ne passe pas par 0
- (5) : Ici le fonction n'est pas décroissante



?



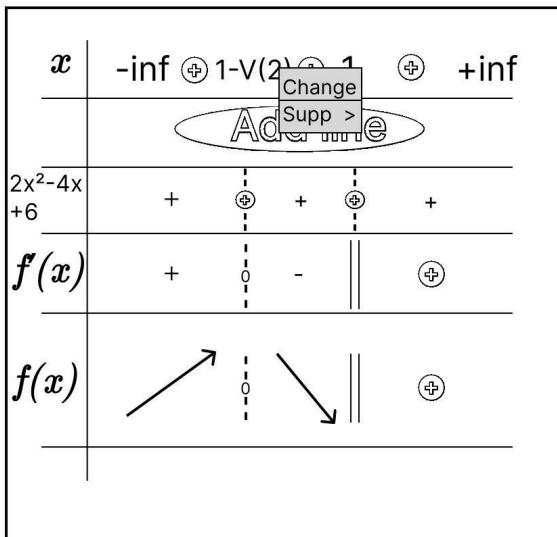
$$f(x) := (2x^2 - 10x + 4)/(x - 1)$$

....

- . Le dénominateur est positif car la fonction carré le prend entièrement
- . Le numérateur est un polynôme paire avec un coefficient positif donc les signes extrêmes de la dérivé est positif, et le signe entre est négatif
- . Le delta du polynôme est positif donc pas de racine et donc le polynôme est strictement positif



?



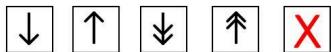
$$f(x) := (2x^2 - 10x + 4)/(x - 1)$$

....

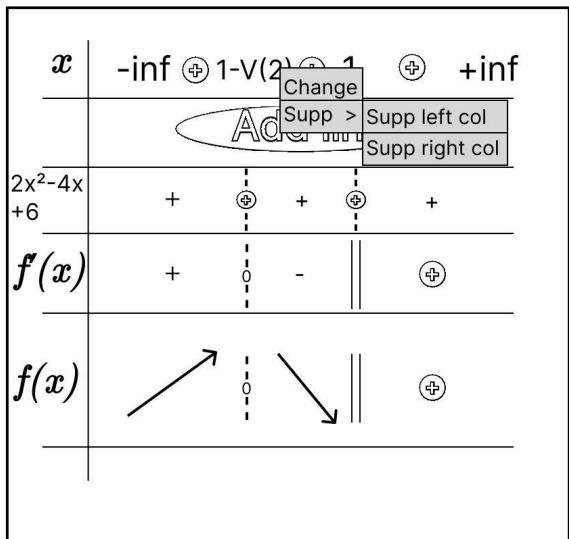
- . Le dénominateur est positif car la fonction carré le prend entièrement
- . Le numérateur est un polynôme paire avec un coefficient positif donc les signes extrêmes de la dérivé est positif, et le signe entre est négatif
- . Le delta du polynôme est positif donc pas de racine et donc le polynôme est strictement positif

Coq a trouvé 5 incompréhensions

- (1) : cette valeur n'est ni racine ni VI
- (2) : Ici le coeff directeur de la dérivé n'est pas nul
- (3) : Ici le coeff directeur de la dérivé n'est pas négative
- (4) : Ici le fonction ne passe pas par 0
- (5) : Ici le fonction n'est pas décroissante



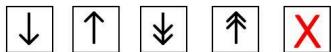
?



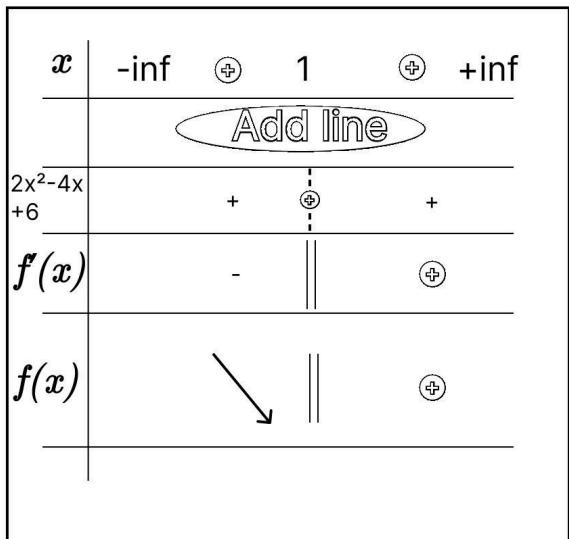
$$f(x) := (2x^2-10x+4)/(x-1)$$

....

- . Le dénominateur est positif car la fonction carré le prend entièrement
- . Le numérateur est un polynôme paire avec un coefficient positif donc les signes extrêmes de la dérivée sont positifs, et le signe entre est négatif
- . Le delta du polynôme est positif donc pas de racine et donc le polynôme est strictement positif



?



$$f(x) := (2x^2-10x+4)/(x-1)$$

....

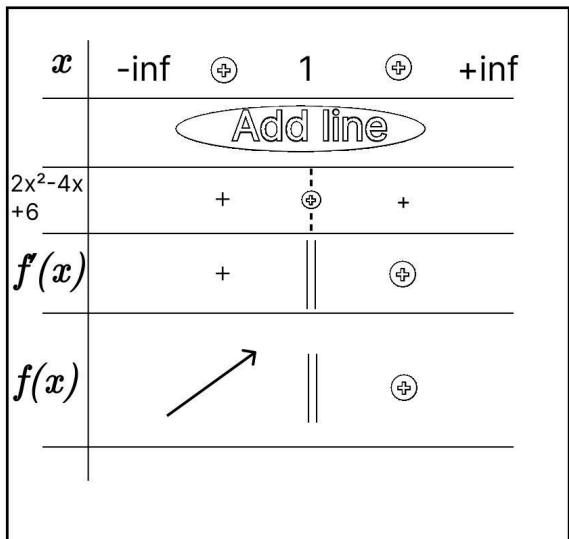
- . Le dénominateur est positif car la fonction carré le prend entièrement
- . Le numérateur est un polynôme paire avec un coefficient positif donc les signes extrêmes de la dérivée sont positifs, et le signe entre est négatif
- . Le delta du polynôme est positif donc pas de racine et donc le polynôme est strictement positif

Coq a trouvé 5 incompréhensions

- (1) : cette valeur n'est ni racine ni VI
- (2) : Ici le coeff directeur de la dérivé n'est pas nul
- (3) : Ici le coeff directeur de la dérivé n'est pas négative
- (4) : Ici le fonction ne passe pas par 0
- (5) : Ici le fonction n'est pas décroissante



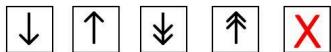
?



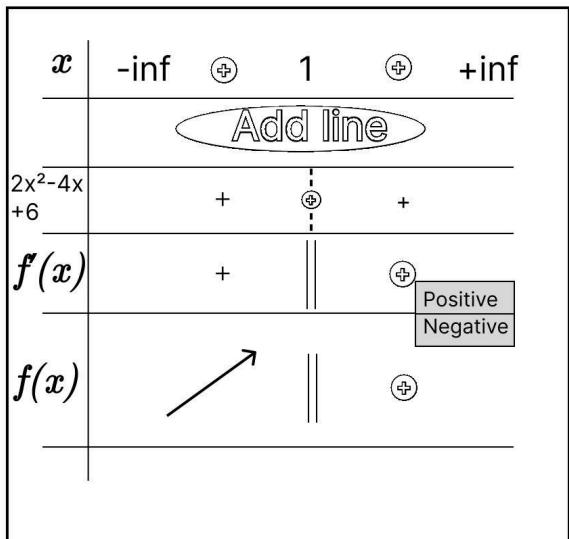
$$f(x) := (2x^2-10x+4)/(x-1)$$

....

- . Le dénominateur est positif car la fonction carré le prend entièrement
- . Le numérateur est un polynôme paire avec un coefficient positif donc les signes extrêmes de la dérivé est positif, et le signe entre est négatif
- . Le delta du polynôme est positif donc pas de racine et donc le polynôme est strictement positif



?



$$f(x) := (2x^2-10x+4)/(x-1)$$

....

- . Le dénominateur est positif car la fonction carré le prend entièrement
- . Le numérateur est un polynôme paire avec un coefficient positif donc les signes extrêmes de la dérivé est positif, et le signe entre est négatif
- . Le delta du polynôme est positif donc pas de racine et donc le polynôme est strictement positif

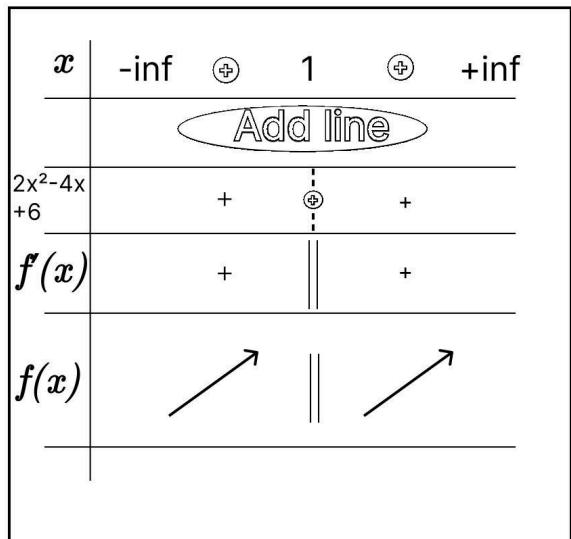
Coq a trouvé 5 incompréhensions

- (1) : cette valeur n'est ni racine ni VI
- (2) : Ici le coeff directeur de la dérivé n'est pas nul
- (3) : Ici le coeff directeur de la dérivé n'est pas négative
- (4) : Ici le fonction ne passe pas par 0
- (5) : Ici le fonction n'est pas décroissante



Put back "?"
Verification

?



$$f(x) =: (2x^2 - 10x + 4)/(x-1)$$

....

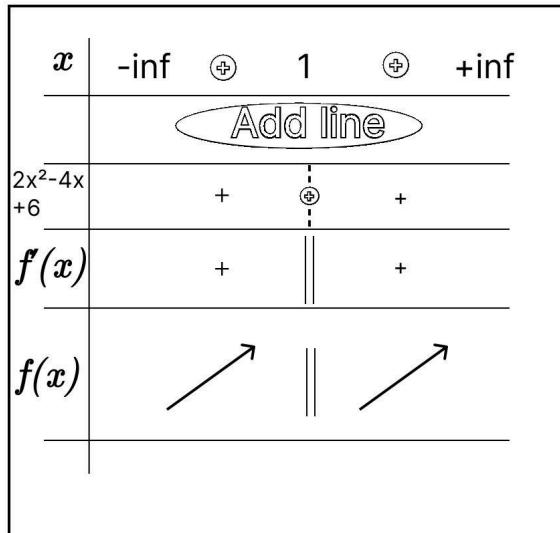
- . Le dénominateur est positif car la fonction carré le prend entièrement
- . Le numérateur est un polynôme paire avec un coefficient positif donc les signes extrêmes de la dérivé sont positifs, et le signe entre est négatif
- . Le delta du polynôme est positif donc pas de racine et donc le polynôme est strictement positif

Coq a trouvé 5 incompréhensions

- (1) : cette valeur n'est ni racine ni VI
- (2) : Ici le coeff directeur de la dérivé n'est pas nul
- (3) : Ici le coeff directeur de la dérivé n'est pas négative
- (4) : Ici le fonction ne passe pas par 0
- (5) : Ici le fonction n'est pas décroissante



?



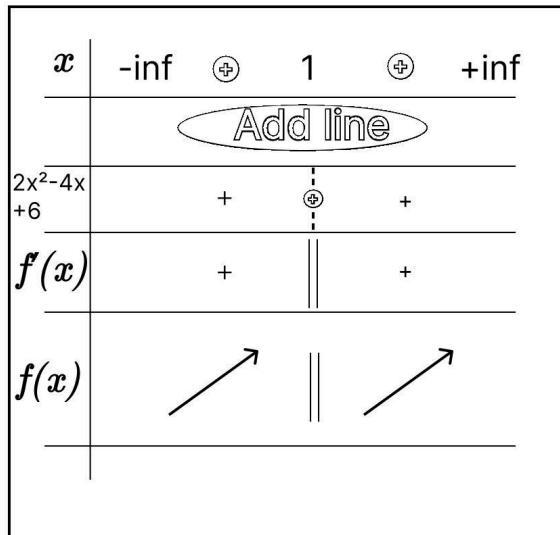
$$f(x) =: (2x^2-10x+4)/(x-1)$$

....

- . Le dénominateur est positif car la fonction carré le prend entièrement
- . Le numérateur est un polynôme paire avec un coefficient positif donc les signes extrêmes de la dérivé est positif, et le signe entre est négatif
- . Le delta du polynôme est positif donc pas de racine et donc le polynôme est strictement positif



?



$$f(x) =: (2x^2-10x+4)/(x-1)$$

....

- . Le dénominateur est positif car la fonction carré le prend entièrement
- . Le numérateur est un polynôme paire avec un coefficient positif donc les signes extrêmes de la dérivé est positif, et le signe entre est négatif
- . Le delta du polynôme est positif donc pas de racine et donc le polynôme est strictement positif

Coq n'a pas trouvé d'erreur ou d'incompréhension