PROJET NSI
SUDOKU

I. INTRODUCTION

Dans ce rapport, nous détaillons le projet réalisé pour valider le diplôme universitaire visant à enseigner la spécialité NSI en première et terminale générale. Il s'agit d'un jeu web de sudoku dont les parties sont générées au préalable en langage Python. Une version en ligne de ce projet est accessible sur www.mathsoup.xyz/sudoku et le présent rapport sur www.mathsoup.xyz/rapport-sudoku.

1. En premier lieu, nous présenterons dans ce document l'interface web réalisée. Un menu principal permet de choisir le niveau de difficulté d'une partie de sudoku jouable à la souris, au clavier ou en tactile. L'apparence s'adapte à l'écran utilisé ou à la taille de la fenêtre dynamiquement.
2. Nous présenterons ensuite comment les parties ont été générées en programmation Python au préalable. On détaillera les classes crées pour représenter les grilles, les parties de sudoku, et les données utiles pour le jeu web. Nous présenterons plus en détail l'algorithme de résolution qui sert à la fois à générer les solutions, les grilles partielles, et à évaluer la difficulté d'une partie.
3. Nous présenterons enfin des développement possibles pour des séquences pédagogiques pour la filière NSI en lien avec le programme.

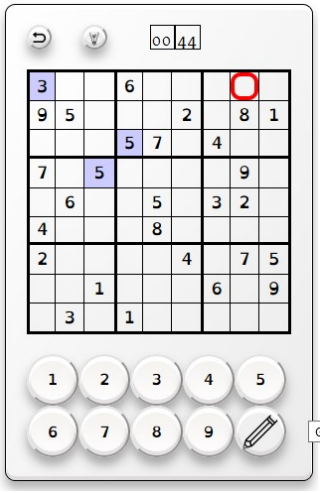
II. PARTIE WEB - HTML/CSS/JS

1. PRÉSENTATION DE L'INTERFACE

A. APERÇU D'UNE PARTIE

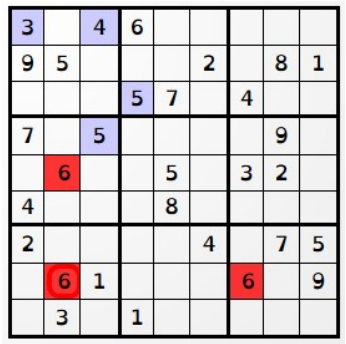
Au démarrage, le menu principal est affiché. Celui-ci comprend le titre, un bouton pour lancer le jeu, un élément de choix de la difficulté actualisant le commentaire (facile, moyen, ...), et un élément pour revenir à la partie en cours (non visible au début).

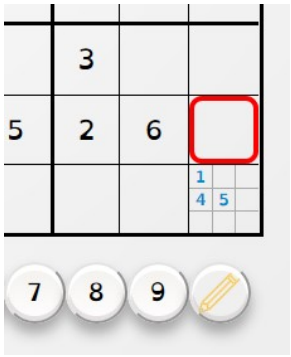
Après avoir sélectionné et cliqué sur la difficulté, le menu principal est masqué, une grille est tirée au hasard (parmi environ une centaine selon la difficulté souhaitée) et la zone de jeu est affichée.



Il est possible de jouer au clavier avec les flèches de direction et le pavé numérique ou à la souris/tactile en utilisant les boutons de l'interface. Les boutons chiffres permettent de proposer un numéro à la case sélectionnée qui sera ajouté (en bleu) si il est compatible selon les règles du sudoku (même si il ne correspond pas à la solution). Si le numéro proposé n'est pas compatible, une animation sobre indiquera les incompatibilités.

Le bouton "crayon" quand il est activé permet de noter des candidats supposés. Les erreurs ne sont pas indiquées en mode crayon.

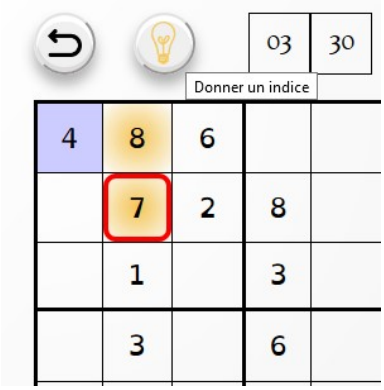


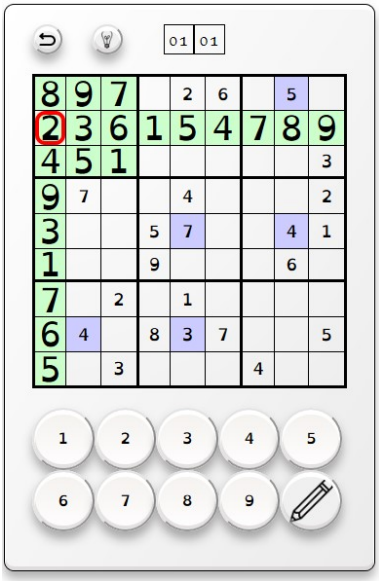


Un bouton "indice" permet de révéler la case sélectionnée. Il n'y a pas de limitation au nombre d'indices utilisé, mais la case révélée gardera une coloration jaune.

Le menu comprend également une horloge et un bouton de retour au menu qui permet de mettre le jeu en pause afin d'y revenir plus tard.

Lorsqu'une ligne ou un carré est complété, une animation récompense le joueur. De même lorsque la partie est gagnée.





L'interface web est composée de trois fichiers *sudoku.html*, *sudoku.css*, *sudoku.js* et un dossier *ressources* contenant trois sous-dossiers *images*, *fonts* et *sudoku_files*.

SUDOKU.HTML

Le fichier *sudoku.html* comprend les éléments graphiques principaux. L'élément principal `<div class="theater-sudoku">` qui contient le *menu principal* `<div class="menu-main-sudoku">` et la *zone de jeu* `<div class="partie-sudoku">`. Le menu principal comprend le titre `<h1>`, un bouton `<button class="new-game-sudoku">` pour lancer le jeu, un élément de choix de la difficulté `<input type="range">`, et un autre bouton pour revenir à la partie en cours (non visible au début). La zone de jeu est vide au départ, et sera complétée par manipulation du DOM en JavaScript.

Le code HTML initial est donc assez réduit :

PROGRAMME - HTML

```
<div class="theater-sudoku">
        <div class="menu-main-sudoku">
                <h1 class="title-sudoku">Sudoku</h1>
                <button class="new-game-sudoku">Nouvelle Partie</button>
                <button class="back" ></button>
                <input class="difficulte-sudoku" type="range" min="0" max
                <div class="logo-difficulte-sudoku"></div>
        </div>
        <div class="partie-sudoku"></div>
</div>
```

SUDOKU.CSS

Le fichier *sudoku.css* comprend la mise en forme des éléments du DOM, les variables CSS de positionnement et de taille nécessaires à un design responsive, les animations (horloge, signes d'interactions, écran de victoire) et permet la visibilité de l'écran de menu ou de jeu (un seul à la fois).

SUDOKU.JS

Le fichier *sudoku.js* comprend une classe `Sudoku()` représentant l'état formel d'une partie de Sudoku tout en gérant le rendu graphique par manipulation du DOM (sans manipulation directe de la CSS). Par exemple, en modifiant dynamiquement la classe ou un attribut d'un élément du DOM représentant une case, la CSS reconnaîtra ses états et modifiera couleur, visibilité ou taille des caractères.

DOSSIERS RESSOURCES

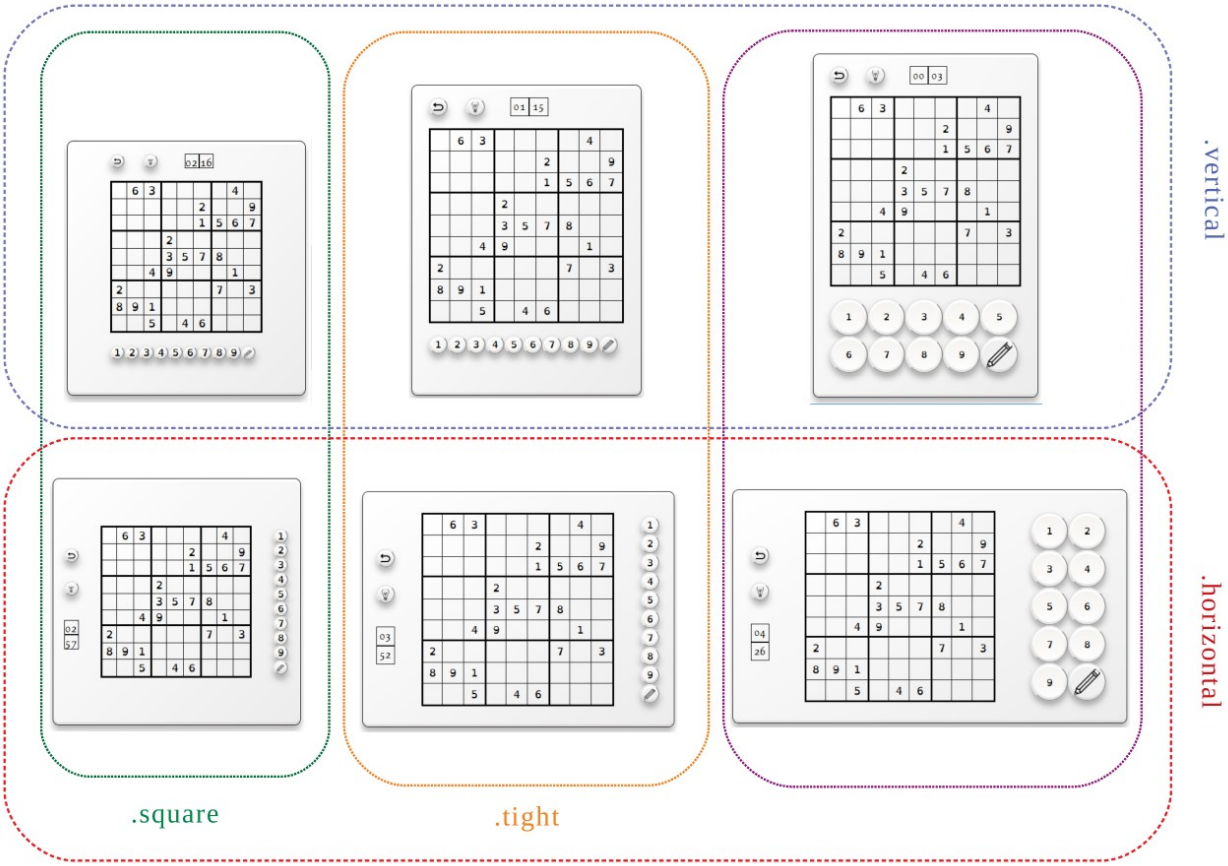
Les dossiers *images* et *fonts* comprennent les images utilisées pour les boutons de navigation et la police de caractère chargées par la CSS.

DOSSIER SUDOKU_FILES

Le dossier *sudoku_files* contient cinq sous-dossiers (*debutant*, *facile*, *moyen*, *difficile*, *expert*) contenant chacun autant de fichiers JSON représentant une grille de sudoku partielle avec sa solution unique. Les fichiers sont nommés par des nombres entiers contigus à partir de 0 de manière à être tirés au hasard.

C. RESPONSIVE DESIGN

L'interface est responsive dans le sens où elle s'adapte à plusieurs formes d'écran. Pour être plus précis, elle s'adapte à la taille du conteneur `<div class="theater-sudoku">` au démarrage et lorsque la fenêtre est redimensionnée.



La grille de sudoku étant carrée, des solutions ont été imaginées à partir de différents écrans pour laisser la place aux deux barres de menu. Selon les cas, quatre classes (*.horizontal*, *.vertical*, *.tight*, *.square*) peuvent être combinées et rendre six interfaces différentes (voir figure ci-avant). En notant H la hauteur et L la largeur, on résume ces classes par le tableau suivant :

Classe	Condition	Commentaire
.horizontal	$H < L$	les menus sont latéraux à la grille. Par défaut les boutons sont gros pour être adaptés aux smartphones.
.vertical	$L < H$	les menus sont au dessus et en dessous de la grille. Gros boutons.
.tight	$L / 1.5 < H < 1.5 \times L$	la taille des boutons est plus réduite. Adapté aux navigateurs desktop.
.square	$0.9 \times L < H < 1.3 \times L$	les dimensions sont trop "carrées" pour laisser la place au menu. On réduit la taille de la grille de 40%

La détection de ces conditions est gérée côté JavaScript par la méthode `Sudoku.handleResize()` :

PROGRAMME - HANDLERESIZE()

```
if(H<W)
        theater.className="theater-sudoku horizontal"
else if(W<=H)
        theater.className="theater-sudoku vertical"
if(1.5*H>W && 1.5*W>H)
        theater.className+=" tight"
if(0.9*W < H && H < 1.3*W)
        theater.className+=" square"
```

REMARQUE

Des conditions sur la taille et le ratio hauteur/largeur de l'écran peut être géré directement côté CSS avec des *media queries* du type
`@media (min-aspect-ratio: 2/3) and (max-aspect-ratio: 3/2) {...}` .

Ce type de condition ne s'applique qu'à un media (écran, imprimante, braille, synthèse vocale, ...). Nous souhaitions faire porter les conditions sur l'élément `<div class="theater-sudoku">` et avons donc écarté cette solution pourtant plus élégante.

2. REPRÉSENTATION DES DONNÉES

Les parties de sudoku et leurs grilles seront réprésentées de trois manières. En amont, un programme python aura généré deux grilles (une partielle et sa solution) sous la forme d'un fichier JSON. A partir de ce fichier, on instancie un objet de la classe *Sudoku* qui jouera le rôle de pivot entre la grille générée et l'utilisateur. Enfin, l'interface graphique présente une grille interactive qui est un ensemble d'objets HTML manipulés par JavaScript.

A. FICHIERS JSON

Dans les sous-dossier de difficulté se trouvent des fichiers *.json* numérotés à partir de 0. Ils contiennent un unique objet JSON structuré de la manière suivante :

PROGRAMME - JSON

```
{
        "grille_solution": [liste de 81 entiers],
        "grille_partielle": [liste de 81 entiers],
        "backtrack_solution": [liste d'entiers entre 0 et 80],
        "backtrack_partielle": [liste d'entiers entre 0 et 80],
        "trous": entier
}
```

- La grille solution comporte les 81 nombres entiers entre 1 et 9
- La grille partielle est compatible avec la grille solution et comporte des 0 pour représenter les trous
- Les deux listes de backtrack contiennent les indices des cases sur lesquelles est revenu le programme python pour générer la grille. Elles ne servent pas à l'interface et ne sont utilisées que pour la partie python.
- trous donne le nombre de 0 dans la grille partielle et n'est pas non plus utilisé dans cette partie.

Nous n'utilisons pas la syntaxe des classes JavaScript, mais celle basée sur les prototypes.

L'objet Sudoku est structuré de la manière suivante :

PROGRAMME - OBJET SUDOKU

```
Sudoku=function(container, grille_partielle, grille_solution=null){
  //méthodes de calcul sur la grille_joueur
  ...

  //méthodes manipulant les objets HTML (graphiques)
  ...

  //gestion des évènements
  ...

  //gestion des animations
  ...

  /*méthode d'initialisation :
  container : element HTML qui contiendra la zone de jeu
  grille_partielle : liste de 81 nombres entiers (0 pour les trous).
                                    Représente la grille initiale
  grille_solution : liste de 81 nombres entiers entre 1 et 9 compatible
                    selon les règles du sudoku et compatible avec
                                  grille_partielle
  */
  this.init=function(container, grille_partielle, grille_solution=null){
    //initialisation des attributs :
    this.container=container
    this.grille_partielle = grille_partielle
    this.grille_solution = grille_solution
    this.grille_joueur = grille_partielle.slice();
    this.selectedCase =- 1;
    Sudoku.lastId+=1;
    this.id=Sudoku.lastId;
    this.timeout=null;

    //lancement des méthodes d'initialisation
    this.setMenuNav()
    this.setSudokuElement(container, grille_partielle)
    this.setMenuInputs()
    this.setSplashYouWin()
    this.setEvenements()
    this.handleResize().
    this.setClock()
  }

  //lancement de la méthode lors de l'"instanciation"
  this.init(container, grille_partielle, grille_solution)
}
```

Les attributs initialisés par la méthode `init()` sont les suivants :

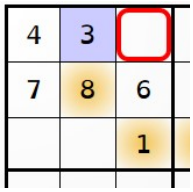
Attribut	Commentaire
`container`	Objet du DOM qui contiendra la zone de jeu `<div class="partie-sudoku" >`
`grille_partielle`	Liste de 81 nombres entiers entre 0 et 9 qui représente l'état initial. Il provient de l'attribut de l'objet json présenté avant.
`grille_solution`	Liste de 81 nombres entiers entre 1 et 9 qui représente la solution. Il provient de l'attribut de l'objet json présenté avant.
`grille_joueur`	Cette troisième grille représente l'état courant de la partie et est initialisé par une copie de `grille_partielle`
`selectedCase`	Un entier entre -1 et 80 qui correspond à l'indice de la case sélectionnée par le joueur dans l'interface (-1 pour aucune case sélectionnée)
`Sudoku.lastId`	Variable de classe comptabilisant le nombre de parties courantes dans le document.
`timeout`	Référence de la prochaine animation. null signifie aucune animation

Les méthodes utilisées par la méthode `init()` sont les suivantes :

Méthode	Commentaire
`setMenuNav()`	méthode graphique : crée le menu de navigation
`setSudokuElement()`	méthode graphique : crée la grille à partir de la grille partielle et du conteneur
`setMenuInputs()`	méthode graphique : crée le menu de jeu
`setSplashYouWin()`	méthode graphique : crée le contexte nécessaire à l'animation de victoire (invisible au départ)
`setEvenements()`	initialise les évènements clavier/souris
`handleResize()`	Redimensionne l'interface graphique selon la taille et la forme de l'écran (voir la partie responsive design)
`setClock()`	crée et lance l'horloge

C. GRILLE - ELEMENT HTML

La grille sudoku est un élément HTML de classe `.sudoku`. Sont contenu est généré par la fonction `initSudokuFromMenu()`. Elle contient 81 éléments de classe `.case` dont les bordures (en css) dessinent la grille. Chacune des case contient un élément de classe `.num` dont le contenu HTML est la valeur dans la case si il y en a une. Afin de présenter sa structure, nous prenons l'exemple suivant :



Le code HTML qui lui correspond est le suivant :

PROGRAMME - GRILLE SUDOKU - HTML

```
<div class="sudoku">
        <div class="case" value="original">
                <div class="num" index="0">4</div>
        </div>
        <div class="case" value="changed">
                <div class="num" index="1">3</div>
        </div>
        <div class="case" selected="true">
                <div class="num" index="2"></div>
        </div>
        <div class="case" value="original">
                <div class="num" index="3">1</div>
        </div>
        ...
        <div class="case" value="original">
                <div class="num" index="9">7</div>
        </div>
        <div class="case" value="indice">
                <div class="num" index="10">8</div>
        </div>
        <div class="case" value="original">
                <div class="num" index="11">6</div>
        </div>
        ...
</div>
```

REMARQUE

Encapsuler un élément `.num` dans chaque élément `.case` répond à la nécessité de centrer verticalement les chiffres de la grille. Nous avons choisit d'attribuer la valeur `flex` à l'attribut CSS `display` des élément `num`. Cette solution fonctionnait indépendamment de la hauteur des conteneurs et de la taille de la font utilisée.

La grille apparaissant à l'écran visualise l'état de l'attribut `grilleur_joueur` de l'objet JS `Sudoku`. Le style conditionné par les attributs des éléments HTML `.case` et `.num` permet de visualiser les valeurs d'origine (fond blanc), les valeurs trouvées (fond bleu), les valeurs données en indice (fond jaune), la case sélectionnée (bord rouge) et les animations en vert.

Attribut	Commentaire
`value`	Renseigne sur l'origine de la valeur présente : • *original* : valeur figée par la grille initiale • *indice* : valeur donnée en indice • *changed* : valeur compatible donnée par le joueur
`index`	indice de la case dans la grille (entre 0 et 80). Permet au script d'identifier une case avec une requête comme : `document.querySelector('#sudoku0 .num[index='12']")`
`selected`	seule valeur possible `true`. Indique la case sélectionnée.

L'élément `num` peut également contenir un élément de classe `nums-crayon` contenant lui-même 9 éléments representant les valeurs possible de "mode crayon".

Les chiffres proposés par le joueur sont ajoutés via la méthode `Sudoku.addNum()` qui effectue les actions suivantes :

- Vérifier si une animation est en cours (auquel cas elle n'effectue pas l'action)
- Vérifie si le mode "crayon" est activé. Une case déjà remplie refusera d'être éditée en mode crayon.
- Vérifie la compatibilité du nombre proposé dans la grille
- Lance une animation pour indiquer le succés ou l'échec de la tentative

La méthode `Sudoku.addNum()` ne fait que modifier les attributs des éléments HTML décrits avant. Les animations et les styles sont décrits en CSS.

3. EVÈNEMENTS

EVENTLISTENER

La méthode `addEventListener(eventType, f)` de l'objet `EventTarget` permet d'appeler une fonction `f` à chaque fois qu'un évènement de type `eventType` (*"click", "scroll", "load", etc.*) est détecté. N'importe quel objet du DOM peut être une cible (y compris `document` et `window`)

A. INITIALISATION

Chose assez courante pour une application web, il faut attendre que la page soit entièrement chargée (scripts et éléments HTML) afin que les fonctions s'appliquent correctement. Dans notre cas, l'élément `<div class="theater-sudoku">` et ses fils sont nécessaire pour initialiser le sudoku. C'est que réalise la dernière instruction du script dans le fichier *sudoku.js* :

PROGRAMME -

```
window.addEventListener('load', initMenuSudoku)
```

La fonction `initMenuSudoku()` gère le choix de la difficulté (nécessitant une intervention de JavaScript pour le sous-texte), rend le menu visible, masque la zone de jeu et définit les évènements liés aux boutons

`<button class=".new-game-sudoku">` et `<button class=".back">` en utilisant `addEventListener(eventType, f)` :

PROGRAMME -

```
back.addEventListener('click', showSudoku);
button_new_game.addEventListener('click', initSudokuFromMenu);
```

- La fonction `showSudoku()` masque le menu et affiche le conteneur de la zone de jeu.
- La fonction `initSudokuFromMenu()` charge un fichier json de manière asynchrone et génère la grille graphique à partir de lui.

B. EVÈNEMENTS DE LA PARTIE

La méthode `Sudoku.setEvenements()` initialise la détection des évènements nécessaires au jeu. `this` fait référence à l'instance de `Sudoku()` :

PROGRAMME -

```
this.setEvenements=function(){
        this.container.addEventListener("click", this.caseClick);
        this.container.addEventListener("click", this.buttonClick);
        window.addEventListener("keydown", this.caseKey);
        window.addEventListener("resize", this.handleResize);
        this.backButton.addEventListener('click', showMenu);
        this.crayonButton.addEventListener('click', this.toggleCrayon);
}
```

Les évènements de type *click* sont liés à un clic (relâché) de souris, *keydown* à une frappe de clavier (touche enfoncée) et *resize* à un redimensionnement du conteneur. Les méthode déclenchées sont les suivantes :

Méthode	Commentaire
`caseClick()`	Lorsqu'une case est cliquée, elle l'attribut HTML `selected` prend la valeur `true` , la case précédente est désélectionnée, et l'indice de la case est affecté à l'attribut `this.selectCase` .
`buttonClick(e)`	Détecte le bouton du menu cliqué (chiffres ou indice) et appelle la méthode `Sudoku.addNum(num, valueType)` qui modifiera la grille selon le modèle détaillé dans la partie 2.c. Dans la fonction, `e.target` designe l'objet HTML `button` cliqué.
`caseKey(e)`	Détecte la touche de clavier pressée en ne tenant compte que des chiffres, des touches i (pour indice), c (pour crayon) et des flèches de direction. Dans la fonction, `e.key` est une chaîne de caractère désignant la touche pressée. `e.preventDefault()` permet désactiver le scrolling provoqué par les touhces haut et bas. La méthode `Sudoku.addNum(num, valueType)`

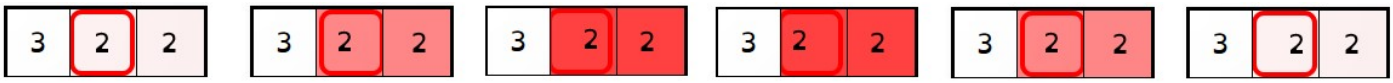
	est utilisée pour les chiffres et `Sudoku.moveCase(direction)` pour déplacer la case sélectionnée.
`handleResize()`	La méthode handleResize() est déjà décrite dans la partie 1.c
`showMenu()`	Affiche le menu et masque la zone de jeu. La fonction `showSudoku()` réalise l'opération inverse.
`toggleCrayon()`	Active/désactive le mode crayon en modifiant la classe de l'élément HTML. Cette fonction mime le fonctionnement d'une checkbox qu'il aurait été plus simple d'utiliser. Pour des raisons de "charte graphique cohérente" et d'économie de code, nous avons préféré utiliser un bouton.

4. ANIMATIONS

Les animations sont réalisées en CSS3. De manière générale nous préférons éviter le recours à des librairies extérieures comme jQuery.

A. ANIMATIONS CSS DES CASES

Une valeur incompatible dans une case sera signalée par un changement progressif de la couleur de fond (animation *num_incompatible*) vers le rouge et une oscillation horizontale de la valeur (animation *shake*) :



Ces animations sont décrites de la manière suivante :

PROGRAMME -

```
/* éclairage temporaire du fond en rouge */
@keyframes num_incompatible {
  0% {background-color: transparent;}
  70% {background-color: red;}
  100% {background-color: transparent;}
}
/* oscillations horizontales*/
@keyframes shake {
  10%, 90% {transform: translate(-1px, 0);}
  20%, 80% {transform: translate(2px, 0);}
  30%, 50%, 70% {transform: translate(-4px, 0);}
  40%, 60% {transform: translate(4px, 0);}
}
```

Lorsque qu'une incompatibilité est détectée, l'attribut `incompatible` des cases concernées prennent la valeur `true` . Cela permet à la CSS d'appliquer les animation *num_incompatible* et *shake* pendant une seconde :

PROGRAMME -

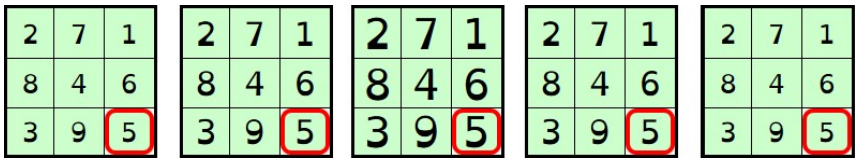
```
.case[incompatible='true']{
        animation-name: num_incompatible;
        animation-duration: 1s;
}
.case[incompatible='true'] .num{
        animation-name: shake;
        animation-duration: 1s;
        overflow:hidden;
}
```

REMARQUE

Même si l'animation ne dure qu'une seconde, nous souhaitons retirer l'attribut `incompatible` au delà de cette durée afin d'éviter des incohérences dans la grille plus tard. Nous avons ajouté une méthode `Sudoku.setAttributeFor=function(el, attr, val, t, f)` qui sera utile pour toutes les animations :

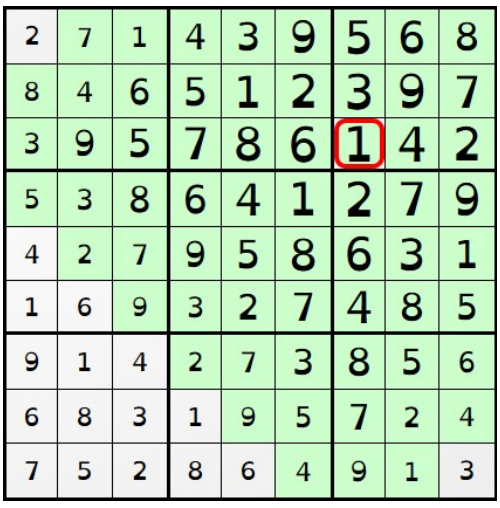
- `el` : élément HTML concerné
- `attr` : nom de l'attribut à ajouter
- `val` : valeur que doit prendre cet attribut
- `t` : durée avant de retirer l'attribut
- `f` : fonction à exécuter à la fin de cette durée (nulle par défaut)

La même méthode est appliquée pour une valeur compatible qui complète une ligne ou un carré. L'animation porte alors sur la taille de la font et le fond est vert.



B. VICTOIRE

Une fois la grille complete, une animation gérée en JavaScript utilise l'animation précédente sur la dernière case remplie et la propage de proche en proche avec un délai de 20 millisecondes :



Cela est réalisé par la méthode `Sudoku.animWin(casesIndex)` qui s'applique à une liste de cases, et se

rappelle récursivement au bout de 20ms sur les voisins, jusqu'à épuisement à l'aide de la fonction `setTimeout(fonction, durée)` :

PROGRAMME - SUDOKU.ANIMWIN()

```
this.animWin=function(casesIndex=[]){
  //condition d'arrêt
  if(casesIndex.length==0){return;}
  setTimeout(function(){
        //recherche des voisins pas encore animés
        var casesVoisinesIndex=[]
        for(var i=0;i 80 || self.getCaseElement(index).getAttribute("comp
                return bool
          }
          //ajout des voisins trouvés
          casesVoisinesIndex = casesVoisinesIndex.concat(self.voisins(cas
        }
        //rappel de la méthode sur les voisins
        self.animWin(casesVoisinesIndex)
  },20);//délai de 20 ms
}
```

C. TIMER

Les animations peuvent souvent être réalisées en CSS, c'est le cas ici pour le chronomètre (élément HTML `.clock`). Les secondes sont des éléments `.s` et les minutes `.m`. Elle sont combinées avec les classes des unités `.u` et des dizaines `d`. On précise la durée entre deux animations :

PROGRAMME - DURÉE DES CYCLES

```
.clock .s .u{
        animation:toc-u 10s infinite;
}
.clock .s .d{
        animation:toc-d 60s infinite;
}
.clock .m .u{
        animation:toc-u 600s infinite;
}
.clock .m .d{
        animation:toc-d 3600s infinite;
}
```

Malheureusement, pour préciser le délai entre deux animations, en CSS3, il n'est pas possible d'écrire d'instruction comme `.clock .s .u{animation-delay:attr(num)s;}`. On doit donc préciser son délai pour chaque valeur :

PROGRAMME - DÉLAIS ENTRE LES ANIMATIONS

```
.clock .s .u[num='0']{animation-delay:0;}
.clock .s .u[num='1']{animation-delay:1s;}
.clock .s .u[num='2']{animation-delay:2s;}
...
.clock .s .d[num='1']{animation-delay:10s;}
```

```
.clock .s .d[num='2']{animation-delay:20s;}
...
.clock .m .u[num='1']{animation-delay:60s;}
...
.clock .m .d[num='1']{animation-delay:600s;}
...
```

Il est possible de mettre en pause les animations du chronomètre en modifiant l'attribut CSS `animation-play-state` pour lui donner les valeurs `paused` ou `running` .

5. REMARQUES DIVERSES

A. AJAX

Pour charger les parties contenues dans les fichiers *.json*, nous utilisons une requête asynchone à l'aide de l'objet *XMLHttpRequest*. La méthode `loadJsonFile` tire au hasard un nombre entre o et les nombre maximal de fichiers contenu dans le dossier de la difficulté sélectionnée. Une requête est envoyée à l'adresse du fichier, et lorsqu'une réponse est renvoyée, l'object JSON est parsé puis une fonction de callback l'utilise pour générer la grille :

PROGRAMME -

```
function loadJsonFile(url, callback) {
        var xhr = new XMLHttpRequest();
        xhr.onreadystatechange = function() {
                if (xhr.readyState === 4) {//indique que l'opération est
                        callback(JSON.parse(xhr.response))
                }
        }
        xhr.open('GET', url, true);
        xhr.send('');
}
...
loadJsonFile('ressources/sudoku_files/' + dir + "/" +name_file, function(
        var grille_partielle = rep.grille_partielle
        var grille_solution=rep.grille_solution
        sudoku=new Sudoku(container, grille_partielle, grille_solution);
})
```

B. SÉLECTION D'UN ÉLÉMENT DU DOM

Le recours à jQuery pour la sélection d'éléments HTML est une solution un peu trop lourde. Les méthode `element.querySelector(selecteur_css)` ou `element.querySelectorAll(selecteur_css)` sont emplement suffisantes. Nous raccourcissons la syntaxe de la manière suivante :

PROGRAMME - SELECTEURR

```
_= q => document.querySelector(q);
element = _(selecteur_css);
```

III. PARTIE PYTHON - GÉNÉRATION DES GRILLES

Nous générons les grilles de sudoku du jeu en Python. Nous avons pour celà programmé une classe Grille et une classe Sudoku. Cette dernière comprend une méthode de résolution basée sur un algorithme de backtracking. Les parties générées sont converties en fichier JSON, regroupés par difficulté et ajoutés à l'application web.

1. CLASSE GRILLE

Une classe Grille, héritant de la classe List, est utilisée pour représenter les différentes grilles de sudoku (grille solution, grilles partielles). Lorsqu'une grille est instanciée, un argument facultatif permet de fixer les 81 valeurs. En général, ces valeurs sont générées aléatoirement.

A. ATTRIBUTS ET MÉTHODES DE BASE

Les attributs de la classe Grille permettent d'introduire de l'aléatoire dans leur mode de génération :

Attribut	Commentaire
`ordre_aleatoire`	une liste mélangée aléatoirement des 81 premiers entiers. Elle permet de parcourir aléatoirement les valeurs de la grille lorsque c'est nécessaire.
`valeurs_possibles`	liste de 81 listes. Chaque liste correspond à des candidats possibles pour la case correspondant au même indice. Ces valeurs seront mélangées aléatoirement.

Les méthodes principales de la classe Grille sont les suivantes :

Méthodes	Commentaire
`reset_grille()`	initialise la grille à 81 valeurs nulles.
`set_valeur_possible(i, valeurs)`	permet d'indiquer les valeurs à tester pour une case vide. Si aucune valeur n'est donnée, les entiers de 1 à 9 dans le désordre sont ajoutés.
`clone()`	renvoie une copie de la grille. Nécessaire pour la génération de grilles partielles.
`coord_case(index)`	Renvoie les coordonnées matricielles correspondantes à l'indice `index` .
`get_val(*args)`	Renvoie la valeur de la case. Un ou plusieurs arguments permettent d'utiliser la méthode en coordonnées matricielles ou non.
`count(num)`	Renvoie le nombre d'éléments `num` dans la grille. Utile pour compter le nombre de trous.

`count_in_row(num, index_row)` , `count_in_col(num, index_col)` , `count_in_square(num, index_square)`	Renvoie le nombre d'éléments `num` dans la ligne, la colonne ou le carré indiqué. Utilisé pour testé la compatibilité d'une valeur
`compatible(index_case, num)`	teste la compatibilité d'une valeur dans une case suivant les règles du sudoku
`retirer(n_valeurs)`	retire le nombre de valeurs indiquées suivant l'ordre de l'attribut `ordre_aleatoire` . Utilisé pour générer des grilles partielles à partir d'une solution (voir partie III.2.D)
`retirer_min_contraintes()`	retire une case dont les contraintes sur la grille sont minimales. Utile pour générer des grilles difficiles partielles difficiles à partir d'une solution (voir partie III.2.E)

2. CLASSE SUDOKU

A. STRUCTURE

Les attributs de la classe Sudoku sont les suivants :

Attributs	Commentaire
`grille_solution`	initialement vide, contiendra un objet `Grille` complet et correct selon les règles du sudoku après l'appel de la méthode `genere_grille_solution()`
`grille_partielle`	initialement vide, contiendra un objet `Grille` partiel, compatible avec `grille_solution` après l'appel de la méthode `genere_grille_partielle()`

Les méthodes principales de la classe Sudoku sont les suivantes :

Méthodes	Commentaire
`solver(n_solution_max)`	méthode centrale : renvoie au plus `n_solutions_max` solutions compatibles avec `grille_partielle` . Voir le détail en partie III.2.B
`genere_grille_solution()`	génère une grille solution à partir de la méthode

	`solver(1)` et l'affecte à l'attribut `grille_solution`
`genere_grille_partielle(methode)`	génère une grille partielle à partir de la `grille_solution` selon deux méthodes possibles (détaillée plus loin) et l'affecte à `grille_partielle`
`JSON`	retourne une valeur de type string représentant une version JSON de l'objet Sudoku concerné.
`saveJSON(path)`	Sauvegarde dans un fichier JSON la valeur retournée par la méthode `JSON()`
`loadJSON(path)`	Permet d'instancier l'objet à partir d'attributs sauvegardés sous forme d'un fichier JSON

Les méthodes `JSON()` , `saveJSON()` et `loadJSON()` permettront de conserver les grille déjà générées, de le réutiliser sans temps de calcul, de les incorporer à l'application web facilement et de réaliser des statistiques afin d'évaluer la difficulté.

B. RÉSOLUTION

Le *solver* est la méthode centrale ici car elle permet à la fois de générer la solution, mais aussi de déterminer l'unicité, et de proposer une grille partielle. Les étapes de raisonnement sont les suivantes :

MÉTHODE

Au départ, on fait correspondre à chaque case une liste de candidats (les chiffres de 1 à 9 dans le désordre). On se place sur la première case, puis tant que la grille n'est pas complète :

- On considère la case sur la laquelle on se trouve
- On teste ses candidats jusqu'à en trouver un compatible (on les retire au fur et à mesure) :
  - Si un candidat est compatible, on l'ajoute à la grille et on avance jusqu'à la prochaine case libre
  - Si les candidats sont épuisés on les réinitialise puis on recule jusqu'à la dernière case remplie

Cette manière de procéder explore l'ensemble des combinaisons possibles. L'idée est bien sûr de s'arrêter avant un parcours exhaustif.

REMARQUE

Cet algorithme répond aux deux étapes importantes que sont la génération d'une grille solution et le test d'unicité de la solution d'une grille partielle. En effet :

- Appliqué à une grille vide, le solver génèrera une grille solution pleine.
- Appliqué à une grille partielle, le solver génèrera une solution si il en existe, ou reculera jusqu'à la "case -1" sinon

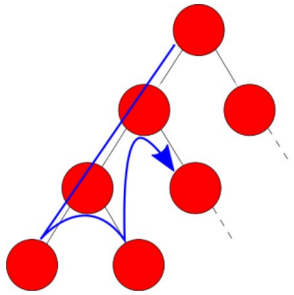
L'algorithme suivant que nous proposons ne se contente pas de trouver une solution, mais se poursuit jusqu'à en trouver au plus `Nmax` . Celà nous permettra plus loin de tester l'unicité d'une solution :

PROGRAMME - ALGORITHME SOLVER

```
VARIABLES INITIALES :

        grille_partielle : longueur 81
                //liste de 0 pour une grille vide
        Nmax : entier représentant le maximum de solutions souhaitées
                //1 pour une grille solution, 2 pour tester l'unicité
        valeurs_a_tester = liste de 81 listes de candidats compatibles
                //(une liste est vide si aucun candidat n'est compatible)
        i : 0 représente la case courante
        sens : 1 représente le sens du parcours
                //(1 pour avant, -1 pour arrière)

ALGORITHME :

        solutions ← liste vide []
        grille_solution ← recopie de grille_partielle

        Tant Que longueur(solutions) < Nmax
                Si grille_partielle[i] > 0
                        i ← i + sens //(la valeur est contrainte)
                Sinon Si longueur(valeurs_a_tester[i]) > 0
                        //(candidat à tester)
                        val ← dernière valeur de valeurs_a_tester[i]
                        retirer val de valeurs_a_tester[i]

                        Si val compatible avec grille_solution en i
                                grille_solution[i] = val
                                sens ← 1 //marche avant
                                i ← i + sens //avancer
                Sinon
                        //valeurs_a_tester[i] épuisées sans candidat comp
                        réinitialiser valeurs_a_tester[i]
                        grille_solution[i]=0
                        sens ← -1
                        i ← i + sens //marche arrière

                //tests de finalité :
                Si i=81 //on a trouvé une solution
                        ajouter une copie de grille_solution à solutions
                        sens←-1
                        i=80//marche arrière
                Sinon Si i=-1
                        //Il n'existe pas Nmax solutions
                        Renvoyer solutions

        Renvoyer solutions
```

BACKTRACKING

L'algorithme parcourt l'espace des solutions exhaustivement dans une approche de type backtracking : celà signifie qu'il parcourt les noeuds de l'arvre de décision du problème en profondeur :



La variable `grille_solution` prend les valeurs successives de ces noeuds. L'espace des solutions $\mathcal{S}$ est strictement inclu dans $\mathcal{E} = \{0, 1, \ldots, 9\}^{81}$. Le parcours exhaustif de $\mathcal{E}$ est assuré par la partie suivante de l'algorithme :

PROGRAMME - ALGORITHME SOLVER

```
Tant Que ...
        Si longueur(valeurs_a_tester[i]) > 0
                val ← dernière valeur de valeurs_a_tester[i]
                retirer val de valeurs_a_tester[i]
                sens ← 1
        Sinon
                réinitialiser valeurs_a_tester[i]
                sens ← -1
        i ← i + sens
```

PROPRIÉTÉ

L'arrêt de l'algorithme est assuré par le cardinal fini de l'ensemble $\mathcal{E}$

Dans notre cas, le parcours de l'ensemble $\mathcal{E}$ par l'algorithme n'est pas du tout exaustif car les conditions suivantes réduisent l'espace parcouru. De plus tant qu'une solution n'est pas trouvée, aucune n'est écartée :

- `Tant Que longueur(solutions) < Nmax`

  Dans notre contexte, `Nmax` vaut 1 ou 2. On ne parcourt donc $\mathcal{E}$ entièrement que dans le cas où il n'y a pas de solution (ce n'est jamais le cas), ou si la première solution rencontrée est à la fin de l'ordre de parcours de l'arbre (ce qui n'est vraisemblablement pas le cas et hors du cadre d'étude du projet). On ne s'intéresse donc qu'à un sous-ensemble très réduit de $\mathcal{S}$

- `grille_solution = grille_partielle`

  Lorsque nous recherchons une solution à partir d'une grille partielle (avec garantie d'existence d'une solution), nous excluons de fait un nombre important de grilles.

- `Si val compatible avec grille_solution`

  Nous excluons les grilles incompatibles avec les règles du sudoku. Pour chaque noeud incompatible de l'arbre, l'ensemble de ses descendants est ignoré car aucun n'appartient à l'espace des solutions $\mathcal{S}$

De plus, cette condition garantie qu'à chaque étape `grille_solution` représente une grille de sudoku (éventuellement partielle) compatible avec les conditions initiales.

La dernière condition avec la condition préalable $\mathcal{S} \neq \emptyset$ parcouru exhaustivement dans le pire des cas garantissent la correction du solver :

PROPRIÉTÉ

Contraint par une grille partielle dont il existe une solution, l'algorithme renvoie $\mathcal{S}$ (ou un sous-ensemble de cardinal `Nmax`).

D. GÉNÉRATION - ALGORITHME ALÉATOIRE

MÉTHODE GÉNÉRALE DE GÉNÉRATION

Une partie de sudoku est une grille partiellement remplie dont il existe une solution unique. La méthode mise en place pour générer cette grille partielle est la suivante :

- Générer une grille solution complète de 81 cases
- Retirer une case tant que la solution est unique
- Retenir l'avant dernière grille partielle

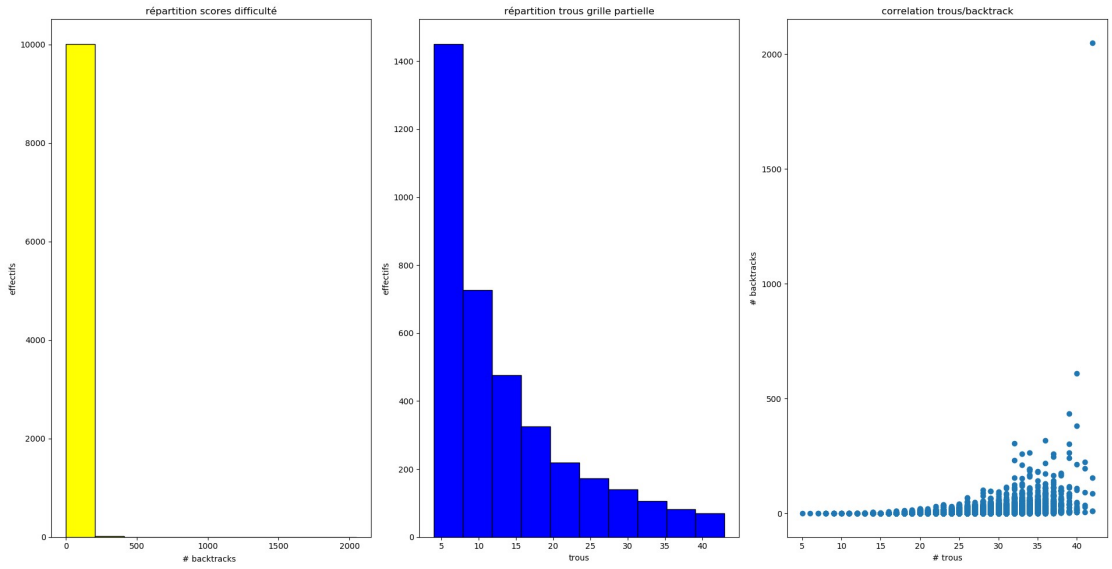
L'algorithme `Solver` permet de résoudre les deux problèmes :

- appliqué à une grille vide avec *Nmax = 1* en paramètre, il construit une grille solution.
- appliqué à une grille partielle avec *Nmax = 2*, il permet de tester l'unicité de la solution :
  - la grille partielle possède une solution par construction, donc l'algo renverra au moins une solution
  - si l'algo renvoie deux solution, la grille est "dégénérée" car ne possède pas de solution unique
  - sinon une solution est unique, on peut continuer à retirer des valeurs

MÉTHODE 1 - CHOIX ALÉATOIRE

Dans un premier temps, pour choisir la prochaine valeurs à retirer, nous nous sommes contenté de tirer au hasard une case remplie de la grille solution. Cette méthode produisait des grilles partielles à solution unique, mais d'une difficulté assez faible.

Hormis la difficulté évaluée par des joueurs sur quelques parties, nous avons utilisé deux paramètres pour appréhender la difficulté des grilles générées : le nombre de trous et le nombre de retours arrières (backtracks) lors de la génération de la grille solution. Sur un corpus de 10032 parties générées avec cette méthode, nous obtenons les résultats suivants :



- le nombre de trous, compris entre 5 et 42, admet une moyenne de 26,15.
- le nombre de retours arrières utilisés par le solver pour résoudre la grille partielle, compris entre 0 et 2049 admet une valeur moyenne de 8,75.
- Dans 95% des cas, ce nombre de retours est inférieur à 36.

E. GÉNÉRATION - ALGORITHME CONTRAINTES

Nous souhaitions proposer des parties difficiles, et donc opérer un meilleur choix des cases à effacer. Une partie étant simple quand les choix sont assez réduits ou évidents, et afin de créer des parties difficiles, l'idée est de retirer des cases qui réduisent le moins possible les choix du joueur.

DÉFINITION DEGRÉ DE CONTRAINTE

On se place dans le contexte d'une grille partielle. Soit C une case remplie contenant une valeur $k \in \{1,...9\}$. Nous appelons *degré de contrainte* de C , le nombre de cases vides de la grille pour lesquelles k serait un candidat, si la case C était vidée.

EXEMPLE

Dans la grille partielle suivante, la case sélectionnée contient un 7. Vider cette case aurait une conséquence sur les candidats possibles des cases vides de la deuxième ligne, de la quatrième colonne, et du deuxième carré. Parmi ces sept cases vides, trois seulement (en vert) admettraient la valeur 7 comme candidat.

7	4	5		6	3		1	
3	2		7	4			5	8
	9	6	2		5			3
1			6	9			2	4
9	8		4	2	1	5	3	
	6	4			8			7
	3	8	5			9	6	
6		2	9	8	4			5
5	7			3		4	8	

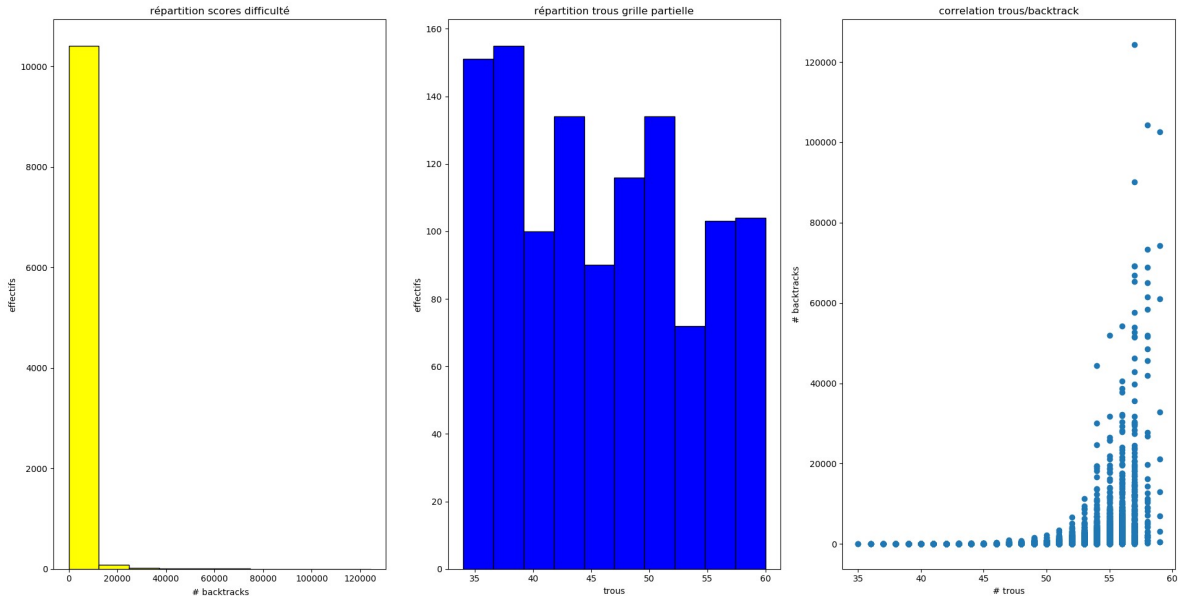
La case sélectionnée impose donc 3 contraintes sur la grille.

MÉTHODE 2 - APPROCHE GLOUTONNE

A chaque étape, il faut évaluer les contraintes de chaque case de la grille partielle par la méthode `Grille.evalContraintesGrille()` . On retire alors une case de degré de contrainte minimal.

L'algorithme général reste le même, seul l'ordre de choix des cases diffère.

Après avoir généré par cette méthode 10556 grilles, il en résulte des grille beaucoup plus difficiles avec une répartition du nombre de trous plus uniforme :



- le nombre de trous, compris entre 35 et 59, admet une moyenne de 49,5.
- le nombre de retours arrières utilisés par le solver pour résoudre la grille partielle, compris entre 0 et 124364, admet une valeur moyenne de 936,7.
- Dans 95% des cas, ce nombre de retours est inférieur à 3656.

F. DIFFICULTÉ

La difficulté des grilles a été évaluée empiriquement à l'aide du jugement d'une (bonne) joueuse de sudoku, et en comparant les grille à une application mobile populaire. Nous souhaitions proposer 5 niveaux de difficulté : débutant, facile, moyen, difficile et expert. Les critères objectifs dont nous disposions étaient le nombre de trous et le nombre de backtracks nécessaires pour résoudre automatiquement la grille. C'est en ajustant ces paramètres que nous obtenons les conditions de difficulté suivantes :

- Débutant : $backtracks < 5000$ et $30 < trous < 40$
- Facile : $backtracks < 5000$ et $45 < trous < 50$
- Moyen : $5000 < backtracks < 10000$ et $45 < trous < 50$
- Difficile : $5000 < backtracks < 10000$ et $50 < trous < 57$
- Expert : $backtracks > 20000$ et $trous > 57$

3. CLASSE DATASUDOKU

Afin de générer un grand nombre de parties, la fonction `genere_sudoku_jsons(n, methode)` est utilisée. `n` est un entier désignant le nombre de parties souhaitées, `methode` une chaîne de caractères indiquant l'une des deux méthodes souhaitées. La fonction ajoute les parties sous forme de fichiers ISON dans un sous-dossier (un pour chaque méthode), trace des histogrammes en utilisant la librairie `matplotlib` et indique quelques données statistiques en utilisant la librairie numpy.

Afin de traiter ces données, une classe `DataSudoku` a été créée. Les attributs principaux sont :

Attribut	Commentaire
`dir`	Le chemin vers le dossier contenant les parties json à traiter. Attribut obligatoire pour instancier un objet DataSudoku
`files`	La liste des fichiers contenus dans le répertoire `dir`
`sudokus`	La liste des objets de classe `Sudoku` chargés à partir des fichiers json
`selection`	Une sous-liste de sudokus de `sudokus` peuplée par la méthode `select`

Les méthodes principales sont les suivantes :

Méthode	Commentaire
`select(condition)`	parcourt la liste `sudokus` et ajoute à `selection` ceux qui satisfont la condition. L'argument `condition` est une fonction qui prend en argument un objet de classe `Sudoku` et renvoie un booléen
`copyToDir(dirPath)`	Convertit les parties de `selection` en fichier json et les copie dans le répertoire désigné par `dirPath` . Permet de récupérer les parties selon des conditions de difficulté.
`histogrammes`	Trace des histogrammes des partie de `sudokus` visualisant le nombre de trous et le nombre de backtracks. Affiche via la console des informations statistiques (min, max, moyenne, médianne, quartiles)

Nous utilisons des fonctions lambda pour représenter les conditions de sélection. Par exemple :

PROGRAMME - CONDITION DÉBUTANT

```
cdt_debutant = lambda x :x.n_backtrack < 5000
                and x.trous > 30 and x.trous < 40
```

PROGRAMME - CONDITION MOYEN

```
cdt_moyen = lambda x :x.n_backtrack < 10000 and x.n_backtrack < 5000
                and x.trous > 45 and x.trous < 50
```

PROGRAMME - CONDITION EXPERT

```
cdt_expert = lambda x :x.n_backtrack > 20000 and x.trous > 57
```

IV. MOBILISATION DE COMPÉTENCES EN NSI

Le présent projet pourrait être utilisé partiellement pour aborder différents thèmes du programme de NSI. Sans détailler les séquences, nous pouvons proposer d'extraire les éléments suivants :

1. LANGAGES WEB

- Création d'une grille en html avec mise en forme CSS
- Création dynamique d'une grille à partir d'une liste en JavaScript en axant sur les boucles
- Utilisation des animations CSS pour programmer une horloge numérique, puis analogique.

2. IHM

- Interface clavier-souris et boutons avec gestion des évènements afin de compléter une grille
- Création d'un menu avec choix de difficulté. Utilisation et traitement d'un formulaire

3. DONNÉES EN TABLES

- Vérification de la compatibilité d'une valeur dans une grille selon les règles du sudoku
- Réaliser certaines fonctions utiles :
  - compter le nombre de valeurs dans une colonne/ligne/carré
  - convertir indices de cases en coordonnées matricielles
  - calculer l'indice du carré d'une case
  - tester la compatibilité d'une valeur dans une case
  - sélectionner les cases incompatibles en cas d'erreur

4. ALGORITHMIQUE

- Décrire un algorithme de résolution du sudoku (backtracking) en séance débranchée.
- Décrire un algorithme de création d'une grille partielle à partir d'une grille solution. Essayer de faire émerger la notion d'unicité, et l'importance de l'existence d'une solution.
- Idée de preuve de correction de l'algorithme.
- Dénombrement des parties possibles