

BATAILLE NAVALE

PROJET DE VALIDATION ISN 2016
DE L'ACADÉMIE DE LYON

FRÉDÉRIC MULLER - `maths.muller@gmail.com`
LIONEL REBOUL - `reboul.lionel@free.fr`

13 mars 2016

Le code source \LaTeX de ce rapport est disponible sur la page du projet :
<https://github.com/Abunix/pyBatNav>

L'ensemble du projet, ainsi que ce rapport, sont sous licence
Creative Common BY-NC-SA

TABLE DES MATIÈRES

1	Présentation du projet	5
1	Le jeu de la bataille navale	5
2	Objectifs du projet	5
3	Liste des modules du projet	6
4	À propos de ce rapport et des annexes	6
2	Quelques fonctions utiles	7
1	Coordonnées des cases	7
2	Constantes de direction	7
3	Paramètres en ligne de commande	7
3	Gestion de la grille	9
1	La classe Bateau	9
2	La classe Grille	9
4	Gestion des joueurs et de la partie	15
1	La classe Joueur	15
2	La classe Partie	15
5	Algorithme de résolution	17
1	Description de l'algorithme	17
2	Étude statistique	21
6	Affichage console	23
1	Preliminaires	23
2	Affichage des grilles	24
3	Modes de jeu	26
7	Interface graphique	27
8	Point de vue pédagogique	29
9	Conclusion	31
A	Étude statistique de l'algorithme	35
B	Codes des caractères graphiques	37
C	L'algorithme en action	39

TABLE DES MATIÈRES

PRÉSENTATION DU PROJET

1 Le jeu de la bataille navale

Le jeu de la bataille navale est un jeu qui se joue à deux joueurs. Chaque joueur dispose d'une grille sur laquelle il place des bateaux rectangulaires de différentes tailles et essaie, à tour de rôle, de deviner l'emplacement des bateaux de l'adversaire par des tirs successifs, ce dernier annonçant à chaque coup « manqué » ou « touché ». Nous avons pris le parti de ne pas annoncer « coulé » lorsque toutes les cases d'un bateau ont été touchées pour rendre l'algorithme de résolution un petit peu plus intéressant. Les bateaux peuvent être placés horizontalement ou verticalement et deux bateaux ne peuvent pas se trouver sur des cases adjacentes.

Les règles retenues dans ce projet sont les règles du jeu original, mais elles peuvent être facilement modifiées, à savoir que la grille est un carré 10 cases de côté et la composition de la flotte est la suivante :

- Un bateau de 5 cases
- Un bateau de 4 cases
- Deux bateaux de 3 cases
- Un bateau de 2 cases

Notons tout de suite quelques implications stratégiques de ces règles qui seront utilisées dans l'algorithme de résolution :

- Le plus petit bateau étant de taille 2, il suffit de ne tirer que sur une cases sur 2 (imaginez les cases noires d'un damier) lors de la recherche d'un bateau.
- Une fois qu'un bateau a été coulé (soit parce que c'est le plus grand de la liste, soit parce que les cases adjacentes à ses extrémités ont été manquées), on peut éliminer de la recherche toutes ses cases adjacentes.
- On peut tout à fait concevoir ce jeu comme un jeu à un seul joueur.

2 Objectifs du projet

Nos objectifs ont été les suivants :

- Définir une structure de données pour modéliser la grille de jeu, ainsi que les joueurs.
- Implémenter un algorithme de résolution par l'ordinateur qui soit le plus performant possible (en nombre de coups ainsi qu'en temps de résolution d'un grille) et en faire une étude statistique complète.
- Avoir une interface permettant de jouer contre l'ordinateur. Cette interface a été réalisée d'un part en mode console avec un affichage grâce à des caractères graphiques (en unicode) et, d'autre part, avec le module tkinter.

3 Liste des modules du projet

Afin de faciliter les développement et la maintenance du projet, celui-ci a été décomposé en un certain nombre de modules :

- `main.py` : le programme principal. Il permet, via un argument `--interface` en ligne de commande de choisir l'interface de jeu (`console` ou `tkinter`).
- `bn_utiles.py` : contient quelques fonctions utiles ainsi que les constantes du projet.
- `bn_grille.py` : gère la grille et les bateaux.
- `bn_joueur.py` : gère les joueurs et implémente l'algorithme de résolution.
- `bn_console.py` : toute l'interface en mode console, et l'étude statistique de l'algorithme de résolution.

4 À propos de ce rapport et des annexes

Vu l'ampleur du projet et la contrainte de taille du rapport, de nombreux points techniques secondaires (mais néanmoins intéressants) sont abordés en annexe, à partir de la page 35.

QUELQUES FONCTIONS UTILES

1 Coordonnées des cases

Les cases de la grille sont codées par des tuples (x,y) , où x est la colonne et y la ligne. Aussi nous utilisons la fonction `alpha(case)` qui, à partir des coordonnées, retourne sa représentation naturelle (par exemple 'B4') et `coord(case_alpha)` qui réalise l'opération réciproque.

Ces deux fonctions utilisent le code ASCII.

2 Constantes de direction

Les constantes suivantes, définies dans le module `bn_utiles.py` indiquent les différentes directions, et sont utilisées dans tout le projet :

- `BN_DROITE = (1, 0)`
- `BN_GAUCHE = (-1, 0)`
- `BN_BAS = (0, 1)`
- `BN_HAUT = (0, -1)`

Ainsi que :

- `BN_ALLDIR = (1, 1)` (toutes les direction)
- `BN_HORIZONTAL = (1, 0)` (à gauche et à droite)
- `BN_VERTICAL = (0, 1)` (en haut et en bas)

Elles permettent de rendre le code plus clair et plus compact.

3 Paramètres en ligne de commande

Le lancement du programme principal `main.py` admet un paramètre en ligne de commande. Ce paramètre est géré par le module `argparse`. La prototype est le suivant :

```
$ main.py -h
usage: main.py [-h] [--interface INTERFACE]
```

Jeu de bataille navale

optional arguments:

```
-h, --help            show this help message and exit
--interface INTERFACE, -i INTERFACE
                        Choix de l'interface : 'console' ou 'tkinter'
```


GESTION DE LA GRILLE

La gestion de la grille et des bateaux est effectuée dans le module `bn_grille.py`.

1 La classe Bateau

Cette classe, très minimaliste, définit un bateau par sa case de départ `Bateau.start`, sa taille `Bateau.taille` et sa direction `Bateau.sens`. Elle permet de récupérer :

- sa case de fin `Bateau.end`
- la liste de ses cases occupées `Bateau.cases`
- la liste de ses cases adjacentes `Bateau.cases_adj`

2 La classe Grille

2.1 Présentation

Cette classe est au cœur du projet.

Elle permet de mémoriser l'état de chaque case de la grille et d'effectuer des opérations comme :

- Gérer la liste des bateaux de la flotte : placer un bateau à une position donnée ou aléatoirement, placer une flotte aléatoire, supprimer un bateau coulé, ou encore garder la trace du plus grand bateau restant à couler.
- Déterminer le nombre de cases vides autour d'une case donnée, dans chacune des directions.
- Déterminer la liste, et le nombre, de bateaux possibles sur chaque case.
- Déterminer lorsque la grille est terminée.

Beaucoup de ces fonctionnalités seront utilisées par l'algorithme de résolution.

Afin de pouvoir faire évoluer les règles, elle prend les paramètres suivants lors de son initialisation :

- `xmax` et `ymax` : les dimensions de la grille
- `taille_bateaux` : la liste des bateaux

Dans la mesure où la grille a deux utilisations différentes (la grille du joueur et la grille de suivi des coups), nous avons d'abord décidé de créer deux classes héritées de `Grille` lors de la conception du projet, `GrilleJoueur(Grille)` et `GrilleSuivi(Grille)`, afin de distinguer leurs méthodes spécifiques. Après coup nous nous sommes rendu compte que cela n'apportait pas d'avantage significatif en terme de qualité de code donc nous ne les utiliseront pas, mais elles sont encore présentes dans notre code pour une évolution future du projet.

2.2 État de la grille

L'attribut `Grille.etat` fournit l'état de la grille. C'est un dictionnaire indexé par les tuples $(0,0)$, $(0,1)$, ..., $(9,9)$, dans lesquels la première coordonnée correspond à la colonne de la case et la deuxième à sa ligne.

L'état d'une case peut être :

- 0 : case vide
- 1 : case touchée (ou contenant un bateau)
- -1 : case manquée ou impossible

L'intérêt d'utiliser un dictionnaire plutôt qu'une liste double tient au fait que les appels sont plus simples et plus naturels et, surtout, que l'utilisation d'une table de hachage permet la recherche d'un élément en $O(1)$.

La méthode `Grille.test_case(self, case)` permet de déterminer si une case est valide et vide, et `Grille.is_touche(self, case)` indique si une case donnée contient ou non un bateau.

Notons également l'utilisation de l'attribut `Grille.vides` qui est la liste des cases vides.

Bien entendu, cette classe contient des fonctions de mise à jour de l'état de la grille (liste des cases vides, tailles du plus petit et du plus grand bateau restant).

Enfin, la méthode `Grille.adjacent(self, case)` renvoie la liste de cases adjacentes à une case donnée.

2.3 Gestion des espaces vides

La méthode `Grille.get_max_space(self, case, direction, sens)` renvoie le nombre de cases vides dans une direction donnée. Grâce aux constantes de direction, un seul calcul est nécessaire pour englober tous les cas. L'algorithme est le suivant :

```
direction[0] → dh
direction[1] → dv
0 → m
case[0] → x
case[1] → y
Tant que la case (x+dh, y+dv) est vide et est dans la grille :
    m+1 → m
    x+1 → x
    y+1 → y
Retourner m
```

Enfin, si le paramètre `sens=1`, la détermination se fait dans les deux sens (espace libre total horizontal ou vertical).

La méthode `Grille.elimine_petites(self)` parcourt toutes les cases vides et élimine celles dans lesquelles le plus petit bateau ne peut pas rentrer en mettant leur état à -1.

2.4 Liste de bateaux possibles sur chaque case

La méthode `Grille.get_possibles(self)` renvoie d'une part la liste des bateaux possibles sur chaque case (ainsi que leur direction) et, d'autre part, la liste des positions (et directions) possibles pour chaque bateau. Pour ce faire on procède en deux temps :

- Dans un premier temps, on parcourt la liste des cases vides et pour chacune de ces cases on détermine, pour chaque bateau et chaque direction (droite et bas) s'il rentre. Cela fournit le dictionnaire `Grille.possibles_cases` indexé par les cases et dont les éléments sont une liste de tuples de la forme `(taille, direction)`.
Par exemple : `{(0,0):[(5,(1,0)), (5,(0,1)),...], (0,1):...}`
- Dans un deuxième temps, on "retourne" ce dictionnaire pour obtenir le dictionnaire `Grille.possibles` indexé par les tailles des bateaux et dont les éléments sont une liste de tuples de la forme `(case, direction)`.
Par exemple : `{5:[((0,0), (1,0)), ((0,0), (0,1)), ((1,0), (1,0)),...], 4:...}`

Cette méthode va nous servir à faire deux choses :

- Placer les bateaux aléatoirement grâce au dictionnaire `Grille.possibles`
- Déterminer la case optimale dans l'algorithme de résolution

2.5 Nombre de possibilités sur chaque case

L'une des parties importantes de l'algorithme de résolution consiste en la détermination de la case dans laquelle rentrent le plus de bateaux. Cette question intervient lors de la phase de tirs en aveugle et, lorsqu'on a touché une première case, qu'on doit tester ses cases adjacentes (phase de tir ciblé).

2.5.1 Optimisation de la phase de tir en aveugle

La méthode `Grille.case_max(self)` renvoie la case vide contenant le plus de bateaux, ainsi que le nombre de bateaux qu'elle contient. L'algorithme est très simple : d'abord on crée un dictionnaire `Grille.probas` indexé par les cases et contenant le nombre de bateaux possibles grâce à `Grille.possibles`. Ensuite il ne reste plus qu'à renvoyer celle qui en contient le plus.

2.5.2 Optimisation de la phase de tir ciblé

Cette optimisation est un petit peu plus délicate. Une fois qu'une case a été touchée, l'algorithme va tester ses 4 (au maximum) cases adjacentes et les ranger en ordre décroissant du nombre de bateaux possibles. C'est le rôle de la méthode `Grille.case_max_touchee(self, case_touchee)`.

Notons (x, y) les coordonnées de la case touchée et intéressons nous au nombre de bateaux possibles sur les cases adjacentes horizontales (pour les verticales, c'est exactement la même chose). Pour chaque taille de bateau à couler possible contenant `case_touchee` il faudra distinguer trois cas :

- 1) Le bateau est à gauche de case_touchee et se termine sur cette case. Dans ce cas on augmente de 1 le nombre de possibilités de la case à gauche ($x-1$, y)
- 2) Le bateau est à cheval sur case_touchee. Dans ce cas on augmente de 1 le nombre de possibilités de la case à gauche ($x-1$, y) et de celle à droite ($x+1$, y)
- 3) Le bateau est à droite de case_touchee et commence sur cette case. Dans ce cas on augmente de 1 le nombre de possibilités de la case à droite ($x+1$, y)

Exemple :

Imaginons que, sur une grille vierge, on vienne de toucher la case de coordonnées (5,0) et regardons le nombre de façons de placer le bateau de taille 4 à gauche et à droite :

- 1) Le bateau rentre à gauche de la case (5,0) :

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0			X	X	X	X				

La case (4,0) est augmentée de 1

- 2) Le bateau est à cheval sur la case (5,0) (2 possibilités) :

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0				X	X	X	X			

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0					X	X	X	X		

Les cases (4,0) et (6,0) sont augmentées de 2

- 3) Le bateau rentre à droite de la case (5,0) :

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0						X	X	X	X	

La case (6,0) est augmentée de 1

Au final, la case (4,0) admet 3 bateaux horizontaux de taille 4 et idem pour la case (6,0).

Si la case (3,0) avait été jouée et manquée nous aurions obtenu 1 bateau horizontal de taille 4 possible sur la case (4,0) et 2 sur la case (6,0) :

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0				O		X				

Une fois que le compte des bateaux possibles a été effectué sur chacune des cases adjacentes, on crée une liste `probas_liste` contenant des tuples de la forme `(case, probas[case])` que l'on ordonne en ordre décroissant de possibilités grâce à l'instruction `sorted(probas_liste, key=lambda proba: proba[1], reverse = True)` et que l'on retourne.

2.6 Gestion de la flotte

Le classe `Grille` contient toutes les méthodes nécessaires pour gérer la flotte de bateaux. Les méthodes `Grille.get_taille_max(self)` et `Grille.get_taille_min(self)` mettent à jour respectivement la taille maximum et la taille minimum des bateaux restant à trouver. La méthode `Grille.rem_bateau(self, taille)` permet de supprimer de la liste `Grille.taille_bateaux` un bateau coulé.

2.6.1 Ajout d'un bateau

La méthode `Grille.add_bateau(self, bateau)` permet d'ajouter un bateau (instance de la classe `Bateau`) après avoir testé sa validité via la méthode `Grille.test_bateau(self, bateau)`, et marque ses cases adjacentes comme impossibles.

Pour initialiser une flotte aléatoire, on utilise la méthode `Grille.init_bateaux_alea(self)` dont l'algorithme est le suivant :

```

0→nb_bateaux
Tant que nb_bateaux < nombre de bateaux à placer :
    0→nb_bateaux
    On crée une copie temporaire de la grille dans gtmp
    Pour chaque taille de bateau à placer :
        On récupère les positions possibles pour ce bateau dans gtmp
        Si aucune possibilité :
            On casse la boucle et on recommence tout
            (pour éviter une situation de blocage)
        Sinon :
            On choisit une position et une direction au hasard
            (parmi celles possibles)
            On ajoute le bateau à gtmp
            nb_bateaux+1→nb_bateaux
    Enfin on copie l'état de gtmp dans notre grille

```

2.7 Fin de la partie

L'attribut `Grille.somme_taille`, initialisé dès le départ avec la classe `Grille`, contient le nombre total de cases à toucher. La méthode `Grille.fini(self)` compare donc ce nombre avec le nombre de cases touchée dans `Grille.etat` pour déterminer si la grille a été résolue.

GESTION DES JOUEURS ET DE LA PARTIE

La gestion des joueurs et du déroulement de la partie se font dans le module `bn_joueur.py` mais les classes `Joueur` et `Partie` sont très minimales et ne constituent majoritairement qu'un squelette pour la suite. Elles seront largement héritées, que ce soit par la classe `Ordi` qui implémente l'algorithme de résolution, que pour les différentes interfaces (console et graphique).

1 La classe Joueur

Lors de son initialisation, on peut donner un nom au joueur et on initialise sa grille de jeu `Joueur.grille_joueur`, la grille de l'adversaire `Joueur.grille_adverse` ainsi que sa grille de suivi des coups `Joueur.grille_suivi`.

On en profite aussi pour initialiser quelques variables d'état comme la liste des coups déjà joués et le nombre de coups joués.

La méthode principale de cette classe est `Joueur.tire(self, case)` qui permet de tirer sur une case et d'avoir en retour le résultat du coup (y compris si le coup n'est pas valide).

Notons l'attribut `Joueur.messages` qui est une liste contenant différents messages d'information (comme par exemple "A2 : Touché", ou encore les messages indiquant comment l'algorithme résout la grille). Lors de l'affichage des messages, il suffit de vider cette liste grâce à des `pop(0)` successifs en affichant chaque élément pour avoir un suivi.

2 La classe Partie

Ici encore, un squelette et des méthodes très générales pour une classe qui sera héritée dans les interfaces.

Elle se contente de définir l'adversaire, de placer les bateaux du joueur et de récupérer les paramètres de l'adversaire (sa grille et le coup qu'il vient de jouer).

Notons l'instruction `isinstance(self.adversaire, Ordi)` qui permet de savoir si l'adversaire est l'ordinateur.

À la base nous voulions faire un mode de jeu en réseau et c'est ici que se seraient trouvées les instructions de communication.

Le déroulement d'une partie à deux joueurs se déroule selon l'algorithme suivant (le joueur port le numéro 0 et son adversaire le numéro 1) :

```
Placement des bateaux du joueur
Récupération des bateaux de l'adversaire
Aléa(0,1)→joueur_en_cours (celui qui commence)
0→nb_coups
Tant qu'aucun joueur n'a fini :
    nb_coups+1→nb_coups
    Si joueur_en_cours == 0 et l'adversaire n'a pas fini :
        Le joueur joue un coup
        Mise à jour de l'affichage des grilles
        Affichage des messages du joueur (résultat du coup)
    Sinon :
        Récupération du coup de l'adversaire
        Mise à jour de l'affichage des grilles
        Affichage des messages de l'adversaire
    (joueur_en_cours+1)%2→joueur_en_cours (changement de joueur)
Affichage des grilles avec la solution
Affichage du gagnant
```


ALGORITHME DE RÉOLUTION

Un exemple de résolution pas à pas est donné dans l'annexe C en page 39.

1 Description de l'algorithme

L'algorithme de résolution est implémenté dans la classe `Ordi(Joueur)` du module `bn_joueur.py`, dans la méthode `Ordi.coup_suivant(self)`.

Il fonctionne en deux temps : dans un premier temps une phase de tir en aveugle et, une fois qu'une case a été touchée, une phase de tir ciblé jusqu'à ce que le bateau soit coulé.

L'attribut `Ordi.case_courante` contient la case qui est entrain d'être jouée.

1.1 Phase de tir en aveugle

Lors de cette phase, l'algorithme va tirer sur la case qui peut contenir le plus de bateau comme vu au chapitre 3, section 2.5.1 (page 11). Cette phase est gérée par la méthode `Ordi.make_case_aleatoire(self)`.

C'est la méthode la plus efficace que nous ayons trouvée. Néanmoins nous avons fait d'autres essais avec d'autres méthodes mais celles-ci étaient beaucoup moins performantes, que ce soit en nombre de coups pour la résolution, qu'en temps :

- La première méthode consiste tout simplement à tirer au hasard sur une case vide.
- On peut raffiner la méthode précédente en ne tirant que sur une case sur deux (le plus petit bateau étant de taille 2, chaque bateau tombe obligatoirement sur une case noire du damier).
- Nous avons aussi essayé de déterminer la case la plus probable en créant un échantillon d'un certain nombre n de répartitions aléatoires des bateaux restant sur le grille et en comptant, pour chaque case, le nombre de bateaux la contenant. Les performances en nombre d'essais étaient satisfaisantes, mais le temps de calcul beaucoup trop élevé. Voici un tableau récapitulatif de quelques essais avec différents paramètres :

Taille des échantillons	100	1 000	10 000	100 000
Nombre de parties	10 000	10 000	1 000	100
Nombre de coups moyens	43,68	43,30	42,72	42,63
Temps moyen par partie (en secondes)	0,38	3,6	36,2	380

Temps mesurés sur un processeur Intel Core i7 4800-MQ à 2,7 GHz

Au final, le temps de résolution étant linéaire en n pour des gains de performances négligeables, cette approche a été abandonnée.

- Enfin, une dernière approche consisterait à déterminer tous les arrangements de bateaux possibles sur la grille à chaque coup, de manière récursive. Cette approche semble optimale mais malheureusement, vu le nombre astronomique de configurations, cette approche est irréalisable que ce soit en temps de calcul qu'en utilisation mémoire.

Lors de cette phase on va également, avant chaque coup, éliminer les cases dans lesquelles le plus petit bateau restant à trouver ne rentre pas.

1.2 Phase de tir ciblé

Lors de cette phase, on va utiliser une file d'attente dans la liste `Ordi.queue` qui va contenir la liste des prochaines cases à viser. On va également garder la trace des cases touchées sur ce bateau dans la liste `Ordi.liste_touchees`, ainsi que la première case touchée dans `Ordi.case_touchee`.

1.2.1 Premier tir

Lors du premier tir touché après la phase de tir en aveugle, l'attribut `Ordi.case_touchee` reçoit la case courante qui sera également ajoutée à `Ordi.liste_touchees`. Puis on va remplir la file d'attente avec les cases adjacentes à la case touchée.

L'algorithme va également vérifier si le plus petit bateau ne peut pas rentrer dans une direction. Imaginons, par exemple, que le plus petit bateau restant soit de taille 3 et qu'on vienne de toucher la case (3,0) dans la configuration suivante :

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0				X						
1										
2				O						

Le bateau de taille 3 ne rentre pas verticalement

Il ne sert alors à rien de mettre la case (3,1) dans la file d'attente car le plus petit bateau de taille 3 ne peut pas rentrer verticalement en (3,0).

La construction de la liste des cases adjacentes possibles est effectuée par la méthode `Ordi.add_adjacentes_premiere(self)`.

Enfin, on va classer la file d'attente en ordre décroissant de nombre de bateaux possibles comme vu au chapitre 3, section 2.5.2 (page 11) avec la méthode `Ordi.shuffle_queue(self)`.

1.2.2 Deuxième tir

Lors du deuxième tir (c'est à dire sur la première case de la file d'attente), on peut soit toucher, soit manquer.

- Si on touche alors, grâce à la méthode `Ordi.update_queue_touche(self)`, on détermine la direction du bateau (horizontal ou vertical) en comparant les coordonnées de `Ordi.case_courante` et `Ordi.case_touchee` et on enlève les cases de la file d'attente qui ne sont pas dans la bonne direction. On ajoute enfin la case à l'extrémité de la configuration créée à la file d'attente et on met à jour la liste `Ordi.liste_touches`.
- Si on manque, alors on a peut-être bloqué une direction.

La méthode `Ordi.update_queue_manque(self)` se charge de cette vérification et élimine la case en face de la case jouée si besoin de la file d'attente.

Regardons un exemple. Imaginons que le plus petit bateau à trouver soit de taille 4 et que la première case touchée soit la case (3,0). Nous venons de manquer la case (4,0). Alors le bateau de taille 4 ne rentre plus horizontalement et on peut éliminer la case (2,0) :

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	O			X						

À ce niveau, le bateau de taille 4 rentre horizontalement.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	O			X	O					

Après ce coup, le bateau de taille 4 ne rentre plus horizontalement et on peut éliminer la case (2,0).

Pour ce faire, on détermine la direction dans laquelle on vient de tirer en comparant les coordonnées de `Ordi.case_courante` et `Ordi.case_touchee` et on regarde si le plus petit bateau rentre dans la direction en face.

1.2.3 Tirs suivants

Une fois que la direction du bateau est déterminée, à chaque fois qu'on touche une case, on ajoute à la file d'attente sa case adjacente dans la bonne direction.

Enfin on s'arrête lorsque la file d'attente est vide (on a manqué les deux extrémités) ou lorsque la taille du bateau touché est égale à la plus grande taille du bateau sur la grille avec `Ordi.test_plus_grand(self)` et, dans ce cas, on vide la file d'attente.

Au prochain tour, on sait qu'un bateau vient d'être coulé lorsque la file d'attente est vide et `Ordi.liste_touches` ne l'est pas. Dans ce cas on marque ses cases adjacentes comme impossibles et on l'enlève de la liste des bateaux à chercher. On n'a plus alors qu'à repartir dans une phase de tir en aveugle.

1.3 Algorithme complet

Voici l'algorithme complet de la résolution :

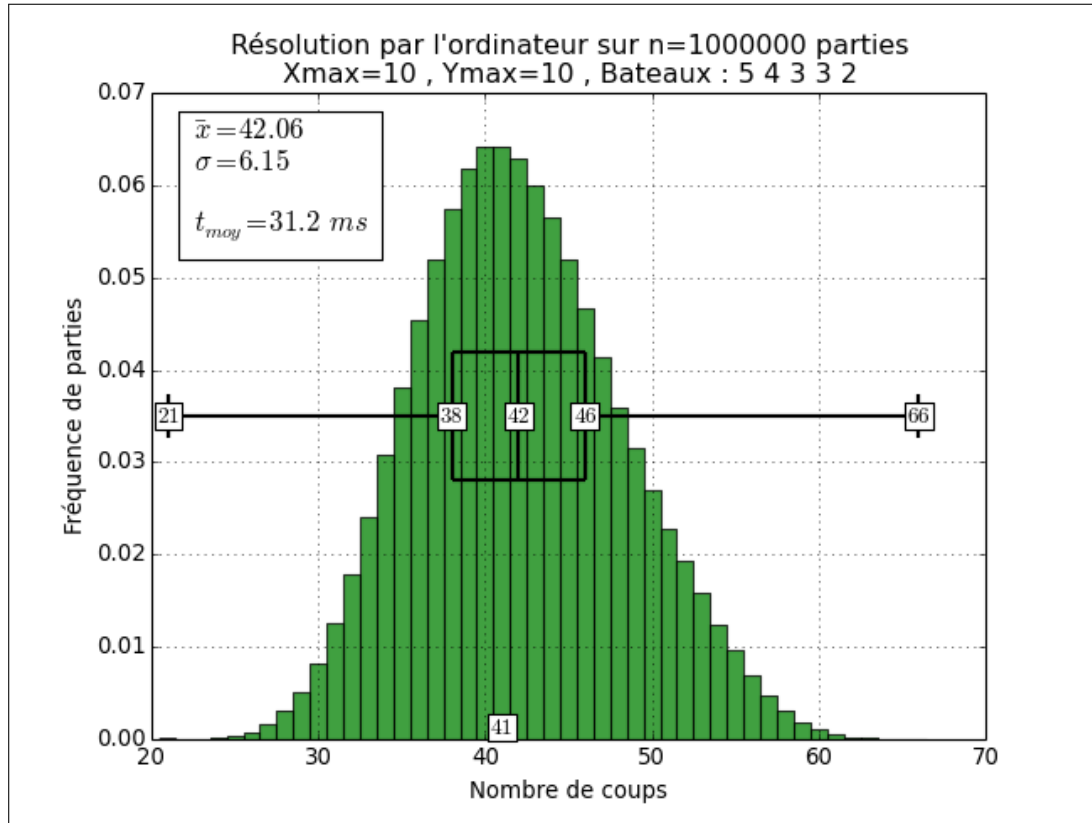
```

La file d'attente est une liste vide
liste_touches est une liste vide
Tant que le grille n'est pas résolue :
  Si la file d'attente est vide :
    Si liste_touches n'est pas vide :
      On enlève le bateau de taille len(liste_touches)
      On élimine les cases adjacentes à celles de liste_touches
      On vide liste_touches
    On élimine les zones trop petites
    case_courante reçoit une case en aveugle
  Sinon :
    case_courante reçoit le premier élément de la file d'attente
    On enlève cette case de la file d'attente
  On tire sur case_courante
  Si on a touché :
    Si liste_touches est vide :
      On ajoute case_courante dans liste_touches
      case_touchee → case_courante
      On ajoute ses cases adjacentes dans la file d'attente
      (en testant également les directions impossibles éventuelles)
    Sinon :
      Si len(liste_touches) == 1 :
        On détecte la direction du bateau
        On met à jour la file d'attente
        (avec la case adjacente à case_courante dans la bonne direction)
      Si le bateau touché est le plus grand restant :
        On vide la file d'attente
    Sinon :
      Si len(liste_touches) == 1 :
        On met à jour la file d'attente
        (on élimine éventuellement la case en face de case_touchee)
  On affiche le nombre de coups

```

2 Étude statistique

Un test de l'algorithme de résolution sur $n = 1\,000\,000$ de parties donne les résultats suivants, obtenus avec les modules numpy et matplotlib :



Notons les excellentes performances avec une moyenne de 42,06 coups pour un temps moyen de seulement 31,2 ms par partie.

La forme de cette distribution semble correspondre à une loi normale asymétrique. Ce résultat sera développé en annexe A page 35.

AFFICHAGE CONSOLE

Le module `bn_console.py` implémente l'interface en mode console.

L'idée de cette interface est de rendre hommage au style de jeu des années 80 en essayant d'en garder au maximum l'esprit.

1 Préliminaires

1.1 Constantes graphiques

Pour afficher les grilles nous utilisons des caractères graphiques en unicode (famille Box Drawing de codes U2500 à U257F). Ceux-ci donnent tous les outils afin de fabriquer des grilles, y compris avec des caractères gras. Pour des raisons de commodité, le code de chacun des caractères utilisés est stocké dans une constante (par exemple `CAR_CX=u'\u253C'` correspond à la croix centrale `+`). La liste complète des codes des caractères utilisés est donnée en annexe B page 37.

1.2 Effacer le terminal

Le module `os` permet d'une part d'accéder à la version du système d'exploitation avec `os.name` et, d'autre part, de lancer des commandes système avec `os.system(commande)`. La combinaison de ces deux commandes permet facilement de pouvoir effacer l'écran en utilisant la commande `cls` sous Windows et `clear` sous Linux.

1.3 Fusion des deux grilles

Lors d'une partie contre un adversaire, il faut pouvoir afficher côte à côte la grille de suivi du joueur ainsi que sa propre grille avec, au fur et à mesure, les coups joués par l'adversaire. Afin de réaliser cette opération nous utilisons la fonction `fusion(chaine1, chaine2)`. Celle-ci prend en entrée deux chaînes de caractères et retourne la chaîne fusionnée de la façon suivante : chaque chaîne est convertie en liste en prenant comme séparateur le caractère de retour de ligne `'\n'` grâce à la méthode `String.split('\n')`. Ensuite, en prenant à tour de rôle les éléments de chacune des listes et en insérant un caractère de trait vertical entre les deux on crée la chaîne fusionnée.

Le résultat peut être vu plus bas en page 26.

1.4 Autres fonctions d’affichage

La fonction `centre(chaine, longueur)` centre la chaîne sur un espace de longueur donnée en insérant le nombre d’espaces nécessaires. Cette fonction sera utilisée pour l’affichage des noms des joueurs.

La fonction `boite(texte, prefixe, longueur)` permet d’encadrer le texte dans une boîte de longueur donnée, chaque ligne étant précédée d’un préfixe. Cette fonction sera utilisée pour afficher la liste des messages pour chaque joueur à chaque tour, les préfixe servant à identifier l’auteur du message.

Notons enfin qu’afin de pouvoir réutiliser le code de ce module dans d’autres contextes (comme une interface en `tkinter`), la fonction `print(*args)` a été encapsulée dans une fonction `info(*args)` de sorte qu’il suffit de surcharger cette dernière pour envoyer l’affichage ailleurs (par exemple dans une boîte de texte dans une fenêtre graphique)

2 Affichage des grilles

La classe `GrilleC(Grille)` hérite de la classe `Grille` en ajoutant uniquement les fonctions d’affichage.

2.1 Affichage simple de la grille

La méthode `GrilleC.make_chaine(self)` crée la chaîne de caractères de la grille simple. En plus des coins, chaque case utilise 3 caractère horizontaux (ce qui permet de centrer un symbole) et 1 caractère vertical.

Pour cet affichage, on crée les lignes les unes après les autres (dans deux boucles imbriquées) en marquant les cases suivant les valeurs de `Grille.etat`. La seule subtilité provient des deux premières et de la dernière ligne (à cause des coins).

2.2 Affichage de la grille avec ses propres bateaux en gras

Cette partie est beaucoup plus délicate. L’idée est d’afficher une grille en entourant ses propres bateaux et en marquant les coups joués par l’adversaire (sa grille de suivi). C’est le rôle de la fonction `GrilleC.make_chaine_adverse(self, grille)`, où `grille` est soit sa propre grille de jeu, soit celle de l’adversaire si on veut tricher (pour les tests bien sûr...) ou en fin de partie, si on a perdu, pour avoir la solution. Par convention, comme `grille` est une grille de jeu, nous allons noter dans les explications les seuls états possibles par 1 si la case est occupée par un bateau et 0 sinon (ou si la case est hors grille).

Les contraintes que nous nous fixons sont les suivantes :

- Les bords des bateaux doivent être en gras
- Les séparations à l’intérieur d’un bateau doivent être en clair
- Lorsque deux bateaux se touchent par un coin, il faut bien sûr que ces coins soit en gras (soit une croix en gras)

Le bord de chaque case de la grille se fera sur la ligne du bas, la séparation verticale de gauche et le coin en bas à gauche. Le cas de la ligne horizontale juste sous les lettres sera fait à part, ainsi que la dernière ligne horizontale et la dernière ligne verticale de la grille (à cause du bord).

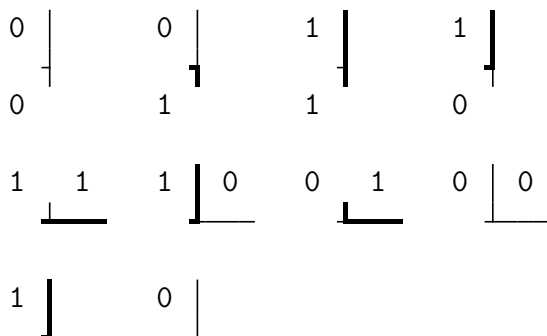
- 1) Première ligne, sous les lettres des colonnes : pour chaque case de la ligne 0 on va tester son état, ainsi que l'état de la case de gauche (pour savoir si on est en début ou en fin de bateau, ou au milieu d'un bateau). On obtient les configurations suivantes (la case testée est celle de droite) :



- 2) Lignes suivantes, jusqu'à l'avant dernière : ici c'est plus délicat car il faut tester, en plus de celle de gauche (pour la séparation verticale), la case en-dessous (pour la séparation horizontale) et celle en-dessous à gauche (pour le coin) pour obtenir les configuration suivantes (la case testée est celle en haut à droite) :



- 3) Enfin, pour la dernière colonne va juste tester la case en-dessous, et pour la dernière ligne, on va juste tester celle de gauche. Pour la case tout en bas à droite il faudra juste finir en mettant un coin.



Au final, cela permet de construire toute la grille, dans tous les cas de figure possibles. Le résultat est visible sur la grille de droite ci-dessous.

3 Modes de jeu

Après un écran d'introduction et un menu sommaire, le programme propose 3 modes de jeu :

- 1) Jeu en solo sur une grille aléatoire.
- 2) Résolution d'une grille aléatoire par l'ordinateur, avec mise en évidence des bateaux qu'il doit trouver (voir annexe C page 39)
- 3) Jeu contre l'ordinateur (suivant l'algorithme vu en page 16).

L'affichage sera alors le suivant :

Toto										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0										
1			○							
2			x							
3			x							x
4	○		x							
5			○			○				
6										
7				○		○				
8	○									
9										

HAL										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0						○				
1					○					
2				○			○		○	
3			○				x			
4							x			
5							x			○
6								○		
7									○	
8										
9										

<Toto> Coup (Entrée pour un coup aléatoire) :

Notons que chaque fois qu'un coup est demandé au joueur, le programme teste la validité de sa réponse (chaîne qui n'est pas une case, case hors grille ou encore une case déjà jouée).

INTERFACE GRAPHIQUE

POINT DE VUE PÉDAGOGIQUE

Bien évidemment, ce projet dépasse largement ce qui est exigible d'un élève (même très bon) de lycée. Certains points peuvent néanmoins être abordés en simplifiant certaines parties et en l'abordant soit comme une série de TP guidés (les élèves doivent coder le contenu des fonctions dont on leur donne le prototype), soit comme projet de fin d'année. On peut aborder les points suivants :

- La structure de la grille : un bon exemple de codage d'une structure complexe (définir les états des cases, utilisation d'un dictionnaire ou d'une liste double, tests des cases valides,...)
- Le placement de bateaux : sûrement la partie la moins évidente, mais oblige à réfléchir sur la façon de définir un bateau
- L'affichage (simple) de la grille : utilisation de boucles imbriquées et de tests pour afficher les bons symboles, et gestion de la mise en page
- Éventuellement une interface graphique en utilisant des boutons ou un canevas pour les cases
- La possibilité pour un joueur de tirer sur une case et retour du résultat
- Une résolution de la grille par l'ordinateur avec uniquement des tirs aléatoires sur les cases vides (les plus en avance pourront réfléchir à des méthodes plus évoluées)

CONCLUSION

Annexes

ÉTUDE STATISTIQUE DE L'ALGORITHME

CODES DES CARACTÈRES GRAPHIQUES

Voici la liste des caractères graphiques utilisés dans l’affichage en console. Ces caractères font presque tous partie de la famille Unicode Box Drawing, consultable sur la page <http://www.unicode.org/charts/PDF/U2500.pdf>.

```
# Caractères simples pour la grille
# -----
# Traits
CAR_H = u'\u2500'          # Trait Horizontal : -
CAR_V = u'\u2502'          # Trait Vertical : |
# Coins
CAR_CHG = u'\u250C'        # Coin Haut Gauche : ┌
CAR_CHD = u'\u2510'        # Coin Haut Droite : ┐
CAR_CBG = u'\u2514'        # Coin Bas Gauche : └
CAR_CBD = u'\u2518'        # Coin Bas Droite : ┘
# T
CAR_TH = u'\u252C'          # T Haut : ┴
CAR_TB = u'\u2534'          # T Bas : ┬
CAR_TG = u'\u251C'          # T Gauche : ├
CAR_TD = u'\u2524'          # T Droite : ┤
# +
CAR_CX = u'\u253C'          # Croix Centrale : ┼


# Caractères en gras pour les bateaux
# -----
# Traits
CAR_GH = u'\u2501'          # Trait Gras Horizontal : -
CAR_GV = u'\u2503'          # Trait Gras Vertical : |
# T
CAR_GTB = u'\u2537'          # T Gras Bas : ┴
CAR_GTD = u'\u2528'          # T Gras Droite : ┤
CAR_GTDH = u'\u252A'         # T Droite Haut : ┤
CAR_GTDB = u'\u2529'         # T Droite Bas : ┤
CAR_GTBG = u'\u253A'         # T Bas Gauche : ┴
CAR_GTBD = u'\u2539'         # T Bas Droite : ┴

# Coins
CAR_GCBD = u'\u251B'        # Coin Gras Bas Droite : ┘
```


ANNEXE B : CODES DES CARACTÈRES GRAPHIQUES

+

CAR_GCXHG = u'\u2546'

Croix Gras Haut Gauche : 

CAR_GCXHD = u'\u2545'

Croix Gras Haut Droite : 

CAR_GCXBG = u'\u2544'

Croix Gras Bas Gauche : 


CAR_GCXBD = u'\u2543'

Croix Gras Bas Droite : 

CAR_GCX = u'\u254B'

Croix Gras Centrale : 

CAR_GCXH = u'\u253F'

Croix Gras Horizontal : 

CAR_GCXV = u'\u2542'

Croix Gras Vertical : 

Touché / Manqué

CAR_TOUCH = u'\u2716'

Touché : ×

CAR_MANQ = u'\u25EF'

Manqué : ○

L'ALGORITHME EN ACTION

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										

<HAL> C'est parti !!!

ANNEXE C : L'ALGORITHME EN ACTION

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0										
1										
2										
3										
4										
5						○				
6										
7										
8										
9										

<HAL> Je tire sur la case F5 qui est la plus probable (34 bateaux possibles)
 <HAL> F5 : Manqué

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0										
1										
2										
3										
4					○					
5						○				
6										
7										
8										
9										

<HAL> Je tire sur la case E4 qui est la plus probable (34 bateaux possibles)

<HAL> E4 : Manqué

ANNEXE C : L'ALGORITHME EN ACTION

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0										
1										
2										
3										
4					○					
5						○				
6							×			
7										
8										
9										

```

<HAL> Je tire sur la case G6 qui est la plus probable (32 bateaux possibles)
<HAL> G6 : Touché
<HAL> J'ajoute la case H6 à la file d'attente
<HAL> J'ajoute la case F6 à la file d'attente
<HAL> J'ajoute la case G5 à la file d'attente
<HAL> J'ajoute la case G7 à la file d'attente
<HAL> J'ordonne ma file d'attente en fonction des possibilités :
<HAL> F6 : 12 bateaux possibles
<HAL> G5 : 12 bateaux possibles
<HAL> H6 : 11 bateaux possibles
<HAL> G7 : 11 bateaux possibles
<HAL> File d'attente : F6 G5 H6 G7

```

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0										
1										
2										
3										
4					○					
5						○				
6						x	x			
7										
8										
9										

```

<HAL> Je tire sur la case F6 de la file d'attente
<HAL> F6 : Touché
<HAL> Le bateau touché est horizontal
<HAL> J'enlève la case G5 de la file d'attente
<HAL> J'enlève la case G7 de la file d'attente
<HAL> J'ajoute la case E6 à la file d'attente
<HAL> File d'attente : H6 E6

```

ANNEXE C : L'ALGORITHME EN ACTION

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0										
1										
2										
3										
4					○					
5						○				
6					x	x	x			
7										
8										
9										

```

<HAL> Je tire sur la case H6 de la file d'attente
<HAL> H6 : Touché
<HAL> J'ajoute la case I6 à la file d'attente
<HAL> File d'attente : E6 I6

```

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0										
1										
2										
3										
4					○					
5						○				
6					x	x	x	x		
7										
8										
9										

<HAL> Je tire sur la case E6 de la file d'attente
<HAL> E6 : Touché
<HAL> J'ajoute la case D6 à la file d'attente
<HAL> File d'attente : I6 D6

ANNEXE C : L'ALGORITHME EN ACTION

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0										
1										
2										
3										
4					○					
5						○				
6					x	x	x	x	x	
7										
8										
9										

```

<HAL> Je tire sur la case I6 de la file d'attente
<HAL> I6 : Touché
<HAL> J'ajoute la case J6 à la file d'attente
<HAL> File d'attente : D6 J6
<HAL> Bateau de taille 5 coulé car c'est le plus grand restant
<HAL> Je vide ma file d'attente

```

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0										
1										
2				○						
3										
4					○					
5					○	○	○	○	○	
6				○	x	x	x	x	x	○
7					○	○	○	○	○	
8										
9										

```

<HAL> Bateau de taille 5 coulé ! Je l'enlève de la liste des bateaux à chercher
<HAL> Bateaux restant à couler : 4 3 3 2
<HAL> J'élimine la case adjacente G5
<HAL> J'élimine la case adjacente G7
<HAL> J'élimine la case adjacente F7
<HAL> J'élimine la case adjacente H5
<HAL> J'élimine la case adjacente H7
<HAL> J'élimine la case adjacente D6
<HAL> J'élimine la case adjacente E5
<HAL> J'élimine la case adjacente E7
<HAL> J'élimine la case adjacente J6
<HAL> J'élimine la case adjacente I5
<HAL> J'élimine la case adjacente I7
<HAL> Je tire sur la case D2 qui est la plus probable (23 bateaux possibles)
<HAL> D2 : Manqué

```

ANNEXE C : L'ALGORITHME EN ACTION

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0										
1										
2				○						
3			○							
4					○					
5					○	○	○	○	○	
6				○	×	×	×	×	×	○
7					○	○	○	○	○	
8										
9										

<HAL> Je tire sur la case C3 qui est la plus probable (23 bateaux possibles)
 <HAL> C3 : Manqué

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0										
1										
2				○			○			
3			○							
4					○					
5					○	○	○	○	○	
6				○	×	×	×	×	×	○
7					○	○	○	○	○	
8										
9										

<HAL> Je tire sur la case G2 qui est la plus probable (21 bateaux possibles)

<HAL> G2 : Manqué

ANNEXE C : L'ALGORITHME EN ACTION

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0										
1						○				
2				○			○			
3			○							
4					○					
5					○	○	○	○	○	
6				○	x	x	x	x	x	○
7					○	○	○	○	○	
8										
9										

<HAL> Je tire sur la case F1 qui est la plus probable (20 bateaux possibles)
 <HAL> F1 : Manqué

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0										
1						○				
2				○			○			
3			○					○		
4					○					
5					○	○	○	○	○	
6				○	×	×	×	×	×	○
7					○	○	○	○	○	
8										
9										

<HAL> Je tire sur la case H3 qui est la plus probable (19 bateaux possibles)

<HAL> H3 : Manqué

ANNEXE C : L'ALGORITHME EN ACTION

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0										
1						○				
2				○			○			
3			○					○		
4					○					
5					○	○	○	○	○	
6				○	x	x	x	x	x	○
7					○	○	○	○	○	
8			○							
9										

<HAL> Je tire sur la case C8 qui est la plus probable (19 bateaux possibles)
 <HAL> C8 : Manqué

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0										
1						○				
2				○			○			
3			○					○		
4		x			○					
5					○	○	○	○	○	
6				○	x	x	x	x	x	○
7					○	○	○	○	○	
8			○							
9										

```

<HAL> Je tire sur la case B4 qui est la plus probable (19 bateaux possibles)
<HAL> B4 : Touché
<HAL> J'ajoute la case C4 à la file d'attente
<HAL> J'ajoute la case A4 à la file d'attente
<HAL> J'ajoute la case B3 à la file d'attente
<HAL> J'ajoute la case B5 à la file d'attente
<HAL> J'ordonne ma file d'attente en fonction des possibilités :
<HAL> B5 : 8 bateaux possibles
<HAL> B3 : 8 bateaux possibles
<HAL> C4 : 6 bateaux possibles
<HAL> A4 : 4 bateaux possibles
<HAL> File d'attente : B5 B3 C4 A4

```

ANNEXE C : L'ALGORITHME EN ACTION

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0										
1						○				
2				○			○			
3			○					○		
4		x			○					
5		○			○	○	○	○	○	
6				○	x	x	x	x	x	○
7					○	○	○	○	○	
8			○							
9										

<HAL> Je tire sur la case B5 de la file d'attente
 <HAL> B5 : Manqué

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0										
1						○				
2				○			○			
3		○	○					○		
4		×			○					
5		○			○	○	○	○	○	
6				○	×	×	×	×	×	○
7					○	○	○	○	○	
8			○							
9										

<HAL> Je tire sur la case B3 de la file d'attente
<HAL> B3 : Manqué

ANNEXE C : L'ALGORITHME EN ACTION

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0										
1						○				
2				○			○			
3		○	○					○		
4		x	x		○					
5		○			○	○	○	○	○	
6				○	x	x	x	x	x	○
7					○	○	○	○	○	
8			○							
9										

```

<HAL> Je tire sur la case C4 de la file d'attente
<HAL> C4 : Touché
<HAL> Le bateau touché est horizontal
<HAL> J'ajoute la case D4 à la file d'attente
<HAL> File d'attente : A4 D4

```


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0										
1						○				
2				○			○			
3		○	○					○		
4	○	x	x		○					
5		○			○	○	○	○	○	
6				○	x	x	x	x	x	○
7					○	○	○	○	○	
8			○							
9										

<HAL> Je tire sur la case A4 de la file d'attente
<HAL> A4 : Manqué

ANNEXE C : L'ALGORITHME EN ACTION

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0										
1						○				
2				○			○			
3		○	○					○		
4	○	x	x	x	○					
5		○			○	○	○	○	○	
6				○	x	x	x	x	x	○
7					○	○	○	○	○	
8			○							
9										

<HAL> Je tire sur la case D4 de la file d'attente
 <HAL> D4 : Touché

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0					○					
1						○				
2				○			○			
3		○	○	○				○		
4	○	x	x	x	○					
5		○	○	○	○	○	○	○	○	
6				○	x	x	x	x	x	○
7					○	○	○	○	○	
8			○							
9										

```

<HAL> Bateau de taille 3 coulé ! Je l'enlève de la liste des bateaux à chercher
<HAL> Bateaux restant à couler : 4 3 2
<HAL> J'élimine la case adjacente C5
<HAL> J'élimine la case adjacente D3
<HAL> J'élimine la case adjacente D5
<HAL> Je tire sur la case E0 qui est la plus probable (12 bateaux possibles)
<HAL> E0 : Manqué

```

ANNEXE C : L'ALGORITHME EN ACTION

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0					○					
1						○			○	
2				○			○			
3		○	○	○				○		
4	○	x	x	x	○					
5		○	○	○	○	○	○	○	○	
6				○	x	x	x	x	x	○
7					○	○	○	○	○	
8			○							
9										

<HAL> Je tire sur la case I1 qui est la plus probable (11 bateaux possibles)
 <HAL> I1 : Manqué

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0					○					
1						○			○	
2				○			○			
3		○	○	○				○		
4	○	x	x	x	○					
5		○	○	○	○	○	○	○	○	
6				○	x	x	x	x	x	○
7					○	○	○	○	○	
8			○							
9				x						

```

<HAL> Je tire sur la case D9 qui est la plus probable (11 bateaux possibles)
<HAL> D9 : Touché
<HAL> J'ajoute la case E9 à la file d'attente
<HAL> J'ajoute la case C9 à la file d'attente
<HAL> J'ajoute la case D8 à la file d'attente
<HAL> J'ordonne ma file d'attente en fonction des possibilités :
<HAL> E9 : 6 bateaux possibles
<HAL> C9 : 6 bateaux possibles
<HAL> D8 : 2 bateaux possibles
<HAL> File d'attente : E9 C9 D8

```

ANNEXE C : L'ALGORITHME EN ACTION

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0					○					
1						○			○	
2				○			○			
3		○	○	○				○		
4	○	x	x	x	○					
5		○	○	○	○	○	○	○	○	
6				○	x	x	x	x	x	○
7					○	○	○	○	○	
8			○							
9				x	○					

<HAL> Je tire sur la case E9 de la file d'attente
 <HAL> E9 : Manqué

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0					○					
1						○			○	
2				○			○			
3		○	○	○				○		
4	○	x	x	x	○					
5		○	○	○	○	○	○	○	○	
6				○	x	x	x	x	x	○
7					○	○	○	○	○	
8			○							
9			x	x	○					

```

<HAL> Je tire sur la case C9 de la file d'attente
<HAL> C9 : Touché
<HAL> Le bateau touché est horizontal
<HAL> J'enlève la case D8 de la file d'attente
<HAL> J'ajoute la case B9 à la file d'attente
<HAL> File d'attente : B9

```

ANNEXE C : L'ALGORITHME EN ACTION

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0					○					
1						○			○	
2				○			○			
3		○	○	○				○		
4	○	x	x	x	○					
5		○	○	○	○	○	○	○	○	
6				○	x	x	x	x	x	○
7					○	○	○	○	○	
8			○							
9		x	x	x	○					

```

<HAL> Je tire sur la case B9 de la file d'attente
<HAL> B9 : Touché
<HAL> J'ajoute la case A9 à la file d'attente
<HAL> File d'attente : A9

```


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0					○					
1						○			○	
2				○			○			
3		○	○	○				○		
4	○	x	x	x	○					
5		○	○	○	○	○	○	○	○	
6				○	x	x	x	x	x	○
7					○	○	○	○	○	
8			○							
9	○	x	x	x	○					

<HAL> Je tire sur la case A9 de la file d'attente
 <HAL> A9 : Manqué

ANNEXE C : L'ALGORITHME EN ACTION

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0					○					
1		○				○			○	
2				○			○			
3		○	○	○				○		
4	○	x	x	x	○					
5		○	○	○	○	○	○	○	○	
6				○	x	x	x	x	x	○
7					○	○	○	○	○	
8		○	○	○						
9	○	x	x	x	○					

```

<HAL> Bateau de taille 3 coulé ! Je l'enlève de la liste des bateaux à chercher
<HAL> Bateaux restant à couler : 4 2
<HAL> J'élimine la case adjacente D8
<HAL> J'élimine la case adjacente B8
<HAL> Je tire sur la case B1 qui est la plus probable (6 bateaux possibles)
<HAL> B1 : Manqué

```

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0					○					
1		○				○			○	
2				○			○			
3		○	○	○				○		x
4	○	x	x	x	○					
5		○	○	○	○	○	○	○	○	
6				○	x	x	x	x	x	○
7					○	○	○	○	○	
8		○	○	○						
9	○	x	x	x	○					

```

<HAL> Je tire sur la case J3 qui est la plus probable (6 bateaux possibles)
<HAL> J3 : Touché
<HAL> J'ajoute la case I3 à la file d'attente
<HAL> J'ajoute la case J2 à la file d'attente
<HAL> J'ajoute la case J4 à la file d'attente
<HAL> J'ordonne ma file d'attente en fonction des possibilités :
<HAL> J2 : 4 bateaux possibles
<HAL> J4 : 3 bateaux possibles
<HAL> I3 : 1 bateaux possibles
<HAL> File d'attente : J2 J4 I3

```

ANNEXE C : L'ALGORITHME EN ACTION

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0					○					
1		○				○			○	
2				○			○			x
3		○	○	○				○		x
4	○	x	x	x	○					
5		○	○	○	○	○	○	○	○	
6				○	x	x	x	x	x	○
7					○	○	○	○	○	
8		○	○	○						
9	○	x	x	x	○					

```

<HAL> Je tire sur la case J2 de la file d'attente
<HAL> J2 : Touché
<HAL> Le bateau touché est vertical
<HAL> J'enlève la case I3 de la file d'attente
<HAL> J'ajoute la case J1 à la file d'attente
<HAL> File d'attente : J4 J1

```

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0					○					
1		○				○			○	
2				○			○			×
3		○	○	○				○		×
4	○	×	×	×	○					○
5		○	○	○	○	○	○	○	○	
6				○	×	×	×	×	×	○
7					○	○	○	○	○	
8		○	○	○						
9	○	×	×	×	○					

<HAL> Je tire sur la case J4 de la file d'attente
 <HAL> J4 : Manqué

ANNEXE C : L'ALGORITHME EN ACTION

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0					○					
1		○				○			○	○
2				○			○			×
3		○	○	○				○		×
4	○	×	×	×	○					○
5		○	○	○	○	○	○	○	○	
6				○	×	×	×	×	×	○
7					○	○	○	○	○	
8		○	○	○						
9	○	×	×	×	○					

<HAL> Je tire sur la case J1 de la file d'attente
 <HAL> J1 : Manqué

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0					○					
1		○	○	○	○	○	○	○	○	○
2		○	○	○	○	○	○	○	○	×
3		○	○	○	○	○	○	○	○	×
4	○	×	×	×	○					○
5		○	○	○	○	○	○	○	○	○
6		○	○	○	×	×	×	×	×	○
7					○	○	○	○	○	○
8		○	○	○			×			
9	○	×	×	×	○					

```

<HAL> Bateau de taille 2 coulé ! Je l'enlève de la liste des bateaux à chercher
<HAL> Bateaux restant à couler : 4
<HAL> J'élimine la case adjacente I3
<HAL> J'élimine la case adjacente I2
<HAL> J'élimine la cases B2 : zone trop petite pour le plus petit bateau de taille 4
<HAL> J'élimine la cases B6 : zone trop petite pour le plus petit bateau de taille 4
<HAL> J'élimine la cases C1 : zone trop petite pour le plus petit bateau de taille 4
<HAL> J'élimine la cases C2 : zone trop petite pour le plus petit bateau de taille 4
<HAL> J'élimine la cases C6 : zone trop petite pour le plus petit bateau de taille 4
<HAL> J'élimine la cases D1 : zone trop petite pour le plus petit bateau de taille 4
<HAL> J'élimine la cases E1 : zone trop petite pour le plus petit bateau de taille 4
<HAL> J'élimine la cases E2 : zone trop petite pour le plus petit bateau de taille 4
<HAL> J'élimine la cases E3 : zone trop petite pour le plus petit bateau de taille 4
<HAL> J'élimine la cases F2 : zone trop petite pour le plus petit bateau de taille 4
<HAL> J'élimine la cases F3 : zone trop petite pour le plus petit bateau de taille 4
<HAL> J'élimine la cases G1 : zone trop petite pour le plus petit bateau de taille 4
<HAL> J'élimine la cases G3 : zone trop petite pour le plus petit bateau de taille 4
<HAL> J'élimine la cases H1 : zone trop petite pour le plus petit bateau de taille 4
<HAL> J'élimine la cases H2 : zone trop petite pour le plus petit bateau de taille 4
<HAL> J'élimine la cases J5 : zone trop petite pour le plus petit bateau de taille 4
<HAL> J'élimine la cases J7 : zone trop petite pour le plus petit bateau de taille 4
<HAL> Je tire sur la case G8 qui est la plus probable (3 bateaux possibles)
<HAL> G8 : Touché
<HAL> J'ajoute la case H8 à la file d'attente
<HAL> J'ajoute la case F8 à la file d'attente
<HAL> Le plus petit bateau, de taille 4, ne rentre pas verticalement en case G8
<HAL> J'ordonne ma file d'attente en fonction des possibilités :
<HAL> H8 : 3 bateaux possibles
<HAL> F8 : 2 bateaux possibles
<HAL> File d'attente : H8 F8

```

ANNEXE C : L'ALGORITHME EN ACTION

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0					○					
1		○	○	○	○	○	○	○	○	○
2		○	○	○	○	○	○	○	○	×
3		○	○	○	○	○	○	○	○	×
4	○	×	×	×	○					○
5		○	○	○	○	○	○	○	○	○
6		○	○	○	×	×	×	×	×	○
7					○	○	○	○	○	○
8		○	○	○			×	×		
9	○	×	×	×	○					

```

<HAL> Je tire sur la case H8 de la file d'attente
<HAL> H8 : Touché
<HAL> Le bateau touché est horizontal
<HAL> J'ajoute la case I8 à la file d'attente
<HAL> File d'attente : F8 I8

```


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0					○					
1		○	○	○	○	○	○	○	○	○
2		○	○	○	○	○	○	○	○	×
3		○	○	○	○	○	○	○	○	×
4	○	×	×	×	○					○
5		○	○	○	○	○	○	○	○	○
6		○	○	○	×	×	×	×	×	○
7					○	○	○	○	○	○
8		○	○	○		×	×	×		
9	○	×	×	×	○					

```

<HAL> Je tire sur la case F8 de la file d'attente
<HAL> F8 : Touché
<HAL> J'ajoute la case E8 à la file d'attente
<HAL> File d'attente : I8 E8

```

ANNEXE C : L'ALGORITHME EN ACTION

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0					○					
1		○	○	○	○	○	○	○	○	○
2		○	○	○	○	○	○	○	○	×
3		○	○	○	○	○	○	○	○	×
4	○	×	×	×	○					○
5		○	○	○	○	○	○	○	○	○
6		○	○	○	×	×	×	×	×	○
7					○	○	○	○	○	○
8		○	○	○		×	×	×	○	
9	○	×	×	×	○					

<HAL> Je tire sur la case I8 de la file d'attente
 <HAL> I8 : Manqué

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0					○					
1		○	○	○	○	○	○	○	○	○
2		○	○	○	○	○	○	○	○	×
3		○	○	○	○	○	○	○	○	×
4	○	×	×	×	○					○
5		○	○	○	○	○	○	○	○	○
6		○	○	○	×	×	×	×	×	○
7					○	○	○	○	○	○
8		○	○	○	×	×	×	×	○	
9	○	×	×	×	○					

```

<HAL> Je tire sur la case E8 de la file d'attente
<HAL> E8 : Touché
<HAL> Bateau de taille 4 coulé car c'est le plus grand restant
<HAL> Je vide ma file d'attente
<HAL> Partie terminée en 36 coups

```