

Rapport INF402 :

*Light Up*

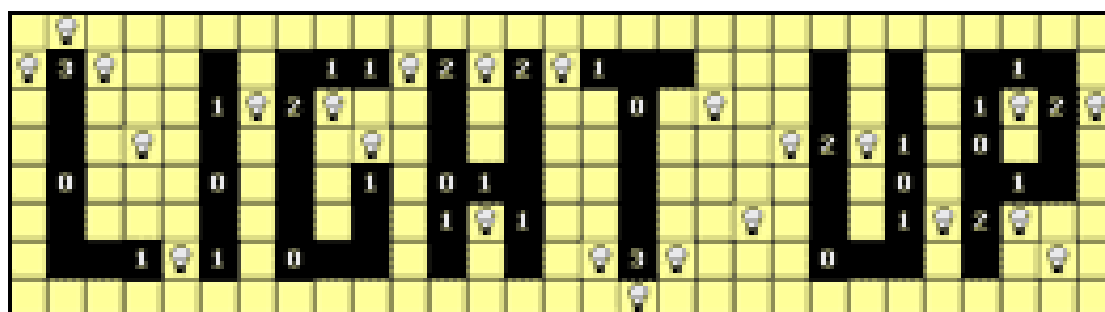
Groupe :INM-2

ZHANG Yuchen, ZHANG Mengtong,

Dupré David

DATE :26/04/2024

1



---

<sup>1</sup> source: <https://fr.puzzle-light-up.com/>

## Sommaire

Intorduction du jeu .....	3
1.presentation .....	3
2.regle du jeu.....	3
3.example .....	3
Solution choisie,formalisation.....	3
1. Décomposer les éléments .....	3
2. Formalisation .....	4
2.1 Des variables .....	4
2.2 Des outils .....	4
2.3 Algorithme .....	6
3.Exemple de formalisation.....	7
Méthode de transformation au format Dimacs.....	8
Jeu de test.....	9
1.cas de la carte vide(Pas de mur avec numero, pas de mur) .....	9
2.cas de la carte avec mur uniquement.....	10
3.cas genrale.....	11
cas complexe .....	12
4.cas de non solution(Erreur de création de carte).....	14
Conclusion .....	15
Remarque.....	15

# Intorduction du jeu

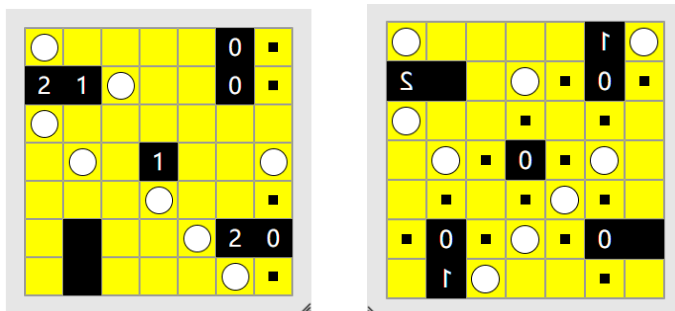
## 1.presentation

Un light up est un jeu mathématique de logique sous forme d'une grille comprenant des cases noires et des cases blanches. Le but du jeu est d'éclairer chaque case blanche en plaçant des ampoules (représentées par des cercles) aux bons endroits.

## 2.regle du jeu

1. Chaque ampoule peut illuminer toutes les cases de sa ligne et de sa colonne jusqu'à rencontrer un mur (case avec un numéro) ou le bord du plateau.
2. Les ampoules ne peuvent pas s'illuminer mutuellement.
3. Les cases portant un numéro indiquent le nombre d'ampoules à placer autour (au-dessus, en dessous, à gauche, à droite, sans inclure les diagonales).
4. Les ampoules ne peuvent pas être placées dans les cases portant un numéro.

## 3.exemple

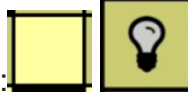


# Solution choisie, formalisation

## 1. Décomposer les éléments

Nous envisageons de décomposer le jeu en trois éléments

cases(Vide ou avec ampoule) :



cases noires(avec numero ou san numero) :

2

## 2. Formalisation

### 2.1 Des variables

pour chaque carré, S'il y a une ampoule dans la grille, c'est 1, sinon c'est 0

Nous l'enregistrons comme :  $L_{ij}$

### 2.2 Des outils

2.2.1. Chaque ampoule peut illuminer toutes les cases de sa ligne et de sa colonne jusqu'à rencontrer un mur (case avec un numéro) ou le bord du plateau.

Pour la case (k,j),  $L_{ij}$ , s'il n'y pas de case noire entre eux (dans la même colonne), alors  $L_{ij} \Rightarrow I_{kj} \Leftrightarrow \neg L_{ij} \vee I_{kj}$

2.2.2. Les ampoules ne peuvent pas s'illuminer mutuellement.  $\neg L_{ij} \vee \neg L_{xy}$

$L_{ij} \wedge L_{xy} = \text{False}$

(pour chaque paire de cases (i,j) et (x,y), S'ils sont situés sur la même ligne ou la même colonne et qu'il n'y a pas de mur entre eux, les deux cases ne peuvent pas contenir des ampoules en même temps.)

2.2.3. Les cases portant un numéro indiquent le nombre d'ampoules à placer autour (au-dessus, en dessous, à gauche, à droite, sans inclure les diagonales).

Une case(i,j) portant un numéro n : il y a exactement n lumière dans les cases  $L_{i-1,j}$ ,  $L_{i+1,j}$ ,  $L_{i,j-1}$ ,  $L_{i,j+1}$

**Si n = 0 :**

$L_{i-1,j} \wedge L_{i+1,j} \wedge L_{i,j-1} \wedge L_{i,j+1} = \text{False}$

$$\neg Li-1,j \wedge \neg Li+1,j \wedge \neg Li,j-1 \wedge \neg Li,j+1$$

**Si n = 1 :**

(pour les suivantes n=1,2,3, on met A, B, C, D pour indiquer les cases Li-1,j, Li+1,j, Li,j-1, Li,j+1

$$(A \wedge \neg B \wedge \neg C \wedge \neg D) \vee (\neg A \wedge B \wedge \neg C \wedge \neg D) \vee$$

$$(\neg A \wedge \neg B \wedge C \wedge \neg D) \vee (\neg A \wedge \neg B \wedge \neg C \wedge D)$$

En FNC :

$$(\neg A \vee \neg B) \wedge (\neg A \vee \neg C) \wedge (\neg A \vee \neg D) \wedge$$

$$(A \vee B \vee C \vee D) \wedge (\neg B \vee \neg C) \wedge$$

$$(\neg B \vee \neg D) \wedge (\neg C \vee \neg D)$$

**Si n = 2:**

$$(A \wedge B \wedge \neg C \wedge \neg D) \vee (A \wedge \neg B \wedge C \wedge \neg D) \vee$$

$$(A \wedge \neg B \wedge \neg C \wedge D) \vee (\neg A \wedge B \wedge C \wedge \neg D) \vee$$

$$(\neg A \wedge B \wedge \neg C \wedge D) \vee (\neg A \wedge \neg B \wedge C \wedge D)$$

En FNC:

$$(\neg A \vee \neg B \vee \neg C) \wedge (\neg A \vee \neg B \vee \neg D) \wedge$$

$$(\neg A \vee \neg C \vee \neg D) \wedge (A \vee B \vee C) \wedge (A \vee B \vee D) \wedge$$

$$(A \vee C \vee D) \wedge (\neg B \vee \neg C \vee \neg D) \wedge (B \vee C \vee D)$$

**Si n = 3:**

$$(A \wedge B \wedge C \wedge \neg D) \vee (A \wedge B \wedge \neg C \wedge D) \vee$$

$$(A \wedge \neg B \wedge C \wedge D) \vee (\neg A \wedge B \wedge C \wedge D)$$

EN FNC

$$(\neg A \vee \neg B \vee \neg C \vee \neg D) \wedge (A \vee B) \wedge (A \vee C) \wedge$$

$$(A \vee D) \wedge (B \vee C) \wedge (B \vee D) \wedge (C \vee D)$$

**Si n = 4 :**

$$Li-1,j \wedge Li+1,j \wedge Li,j-1 \wedge Li,j+1 = \text{True}$$

$$Li-1,j \wedge Li+1,j \wedge Li,j-1 \wedge Li,j+1$$

2.2.4. Les ampoules ne peuvent pas être placées dans les cases portant un numéro.

$\neg L_{ij}$  (pour la case (i,j) avec un numéro,  $L_{ij} = \text{False}$ )

## 2.3 Algorithme

### **puzzle to cnf(puzzle):**

Initialiser la liste des clauses (liste vide).

taille = obtenir la dimension du puzzle

Pour chaque cellule (i, j) dans le puzzle:

Si la cellule contient un chiffre:

Convertir les coordonnées des cellules adjacentes en numéros de variables.

Ajouter les clauses CNF pour limiter le nombre de lampes en fonction du chiffre.

Finsi

Si la cellule est un mur ('X'):

S'assurer qu'aucune lampe ne soit placée à cette position.

Convertir cette position en numéro de variable et ajouter une clause CNF.

Finsi

Si la cellule est vide ('.'): PASSER Finsi

Appeler **block\_other\_lights** pour gérer l'effet de blocage des lampes dans la même ligne ou colonne.

Appeler **illuminate\_required\_cells** pour ajouter des règles garantissant l'éclairage.

Retourner la formule CNF, incluant le nombre de variables et la liste des clauses.

### **block\_other\_lights(i, j, taille, puzzle, clauses):**

Pour chaque direction (haut, bas, gauche, droite):

Initialiser un marqueur de blocage à Faux.

Commencer à se déplacer depuis la position actuelle dans la direction donnée:

Si un bord du tableau ou un mur ('X') est rencontré, activer le marqueur de blocage.

Si aucune obstruction et la cellule est vide ('.'):

Ajouter une clause CNF: la lampe actuelle et celle dans cette position ne peuvent pas être allumées en même temps.

Si un obstacle (chiffre ou mur) est rencontré, arrêter de vérifier dans cette direction.

### illuminate\_required\_cells(i, j, taille, puzzle, clauses):

Si la cellule est vide ('.'):

Initialiser une liste contenant les variables des lampes pouvant éclairer cette cellule.

Vérifier dans toutes les directions jusqu'à atteindre le bord du tableau ou une cellule non vide:

Collecter les variables des lampes dans ces directions.

Ajouter une clause CNF assurant qu'au moins une des lampes soit allumée.

## 3.Exemple de formalisation

```
• @Moyu117 →/workspaces/INF402TEST/INF402_TEST-main (main) $ python3 main.py puzzle/test.txt
Loaded puzzle:
. .
. X
SAT solution found:
[L1]
Updated puzzle:
L .
. X
○ @Moyu117 →/workspaces/INF402TEST/INF402_TEST-main (main) $
```

sur CNF :  $(\neg L1V \neg L2) \wedge (\neg L1V \neg L3) \wedge (L2VL3VL1) \wedge (\neg L2V \neg L1) \wedge (L1VL2) \wedge (\neg L3V \neg L1) \wedge (L1VL3) \wedge (\neg L4) \wedge (\neg L4V \neg L3) \wedge (\neg L4V \neg L2)$

étape :

pour chaque ligne,chaque colonne

1.test (1,1)

block\_other\_lights :  $(\neg L1V \neg L2) \wedge (\neg L1V \neg L3)$

illuminate\_required\_cells:  $(L2VL3VL1)$

2.test(2,1)

block\_other\_lights :  $(\neg L2V \neg L1)$

illuminate\_required\_cells:  $(L1VL2)$

3.test(1,2)

block\_other\_lights :  $(\neg L3V \neg L1)$

illuminate\_required\_cells:  $(L1VL3)$

4.test(2,2)

**cellule est un mur ('X'):**  $(\neg L4)$

block\_other\_lights :  $(\neg L4V \neg L3) \wedge (\neg L4V \neg L2)$

Fini

# Méthode de transformation au format Dimacs

\* Définir les variables

Numéroter chaque grille du puzzle de 1 à n (le format dimacs exige que les variables commencent à 1 et non à 0)

\* Construire les clauses

Construire les clauses séparément pour chaque grille

\* Construire le cnf

convertir les clauses construites en cnf

\* encoder en dimacs

au format DIMACS :

- Chaque clause se compose de la représentation numérique de la variable concernée. Utilisez des nombres négatifs pour indiquer la négation de la variable.

- Chaque clause est terminée par 0.

- Une ligne d'en-tête est requise au début de la formule sous le format p cnf <nombre de variables> <nombre de clauses>, où <nombre de variables> est le nombre total de variables différentes dans la formule et <nombre de clauses> est le nombre total de clauses.

Exemple :

Les 9 grilles sont numérotées de 1 à 9

Rédigez les clauses pour chaque grille

Relier toutes les clauses par des et

Coder le DIMACS :

p cnf 9 37

1 2 3 4 7 0

-1 -2 0

-1-3 0

-1-4 0

-1-7 0

2 1 3 0

-2-1 0

-2-3 0

3 1 2 6 9 0

3-1-0.

3-2-0.

3-6-0.

....

....



# Jeu de test

## 1.cas de la carte vide(Pas de mur avec numero, pas de mur)

```
@Moyu117 →/workspaces/INF402TEST/INF402_TEST-main (main) $ python3 main.py puzzle/test.txt
Loaded puzzle:
. . .
. . .
. . .
SAT solution found:
[L3, L5, L7]
Updated puzzle:
. . L
. L .
L . .
```

Taille :3x3

CNF :  $(\neg L1V \neg L2) \wedge (\neg L1V \neg L3) \wedge (\neg L1V \neg L4) \wedge (\neg L1V \neg L7) \wedge (L2VL3VL4VL7VL1) \wedge (\neg L2V \neg L3) \wedge (\neg L2V \neg L1) \wedge (\neg L2V \neg L5) \wedge (\neg L2V \neg L8) \wedge (L1VL3VL5VL8VL2) \wedge (\neg L3V \neg L2) \wedge (\neg L3V \neg L1) \wedge (\neg L3V \neg L6) \wedge (\neg L3V \neg L9) \wedge (L2VL1VL6VL9VL3) \wedge (\neg L4V \neg L5) \wedge (\neg L4V \neg L6) \wedge (\neg L4V \neg L7) \wedge (\neg L4V \neg L1) \wedge (L5VL6VL1VL7VL4) \wedge (\neg L5V \neg L6) \wedge (\neg L5V \neg L4) \wedge (\neg L5V \neg L8) \wedge (\neg L5V \neg L2) \wedge (L4VL6VL2VL8VL5) \wedge (\neg L6V \neg L5) \wedge (\neg L6V \neg L4) \wedge (\neg L6V \neg L9) \wedge (\neg L6V \neg L3) \wedge (L5VL4VL3VL9VL6) \wedge (\neg L7V \neg L8) \wedge (\neg L7V \neg L9) \wedge (\neg L7V \neg L4) \wedge (\neg L7V \neg L1) \wedge (L8VL9VL4VL1VL7) \wedge (\neg L8V \neg L9) \wedge (\neg L8V \neg L7) \wedge (\neg L8V \neg L5) \wedge (\neg L8V \neg L2) \wedge (L7VL9VL5VL2VL8) \wedge (\neg L9V \neg L8) \wedge (\neg L9V \neg L7) \wedge (\neg L9V \neg L6) \wedge (\neg L9V \neg L3) \wedge (L8VL7VL6VL3VL9)$

Soluion : [L3, L5, L7] OK

```
@Moyu117 →/workspaces/INF402TEST/INF402_TEST-main (main) $ python3 main.py puzzle/test.txt
Loaded puzzle:
. .
. .
SAT solution found:
[L2, L3]
Updated puzzle:
. L
L .
@Moyu117 →/workspaces/INF402TEST/INF402_TEST-main (main) $
```

Taille :2x2

CNF :  $(\neg L1V \neg L2) \wedge (\neg L1V \neg L3) \wedge (L2VL3VL1) \wedge (\neg L2V \neg L1) \wedge (\neg L2V \neg L4) \wedge (L1VL4VL2) \wedge (\neg L3V \neg L4) \wedge (\neg L3V \neg L1) \wedge (L4VL1VL3) \wedge (\neg L4V \neg L3) \wedge (\neg L4V \neg L2) \wedge (L3VL2VL4)$

Soluion : [L2, L3] OK

```

@Moyu117 →/workspaces/INF402TEST/INF402_TEST-main (main) $ python3 main.py puzzle/test.txt
Loaded puzzle:
. . . .
. . . .
. . . .
. . . .
SAT solution found:
[L4, L7, L9, L14]
Updated puzzle:
. . . L
. . L .
L . . .
. L . .

```

Taille :4x4

CNF :  $(\neg L1V \neg L2) \wedge (\neg L1V \neg L3) \wedge (\neg L1V \neg L4) \wedge (\neg L1V \neg L5) \wedge (\neg L1V \neg L9) \wedge (\neg L1V \neg L13) \wedge (L2VL3VL4VL5VL9VL13VL1) \wedge (\neg L2V \neg L3) \wedge (\neg L2V \neg L4) \wedge (\neg L2V \neg L1) \wedge (\neg L2V \neg L6) \wedge (\neg L2V \neg L10) \wedge (\neg L2V \neg L14) \wedge (L1VL3VL4VL6VL10VL14VL2) \wedge (\neg L3V \neg L4) \wedge (\neg L3V \neg L2) \wedge (\neg L3V \neg L1) \wedge (\neg L3V \neg L7) \wedge (\neg L3V \neg L11) \wedge (\neg L3V \neg L15) \wedge (L2VL1VL4VL7VL11VL15VL3) \wedge (\neg L4V \neg L3) \wedge (\neg L4V \neg L2) \wedge (\neg L4V \neg L1) \wedge (\neg L4V \neg L8) \wedge (\neg L4V \neg L12) \wedge (\neg L4V \neg L16) \wedge (L3VL2VL1VL8VL12VL16VL4) \wedge (\neg L5V \neg L6) \wedge (\neg L5V \neg L7) \wedge (\neg L5V \neg L8) \wedge (\neg L5V \neg L9) \wedge (\neg L5V \neg L13) \wedge (\neg L5V \neg L1) \wedge (L6VL7VL8VL1VL9VL13VL5) \wedge (\neg L6V \neg L7) \wedge (\neg L6V \neg L8) \wedge (\neg L6V \neg L5) \wedge (\neg L6V \neg L10) \wedge (\neg L6V \neg L14) \wedge (\neg L6V \neg L2) \wedge (L5VL7VL8VL2VL10VL14VL6) \wedge (\neg L7V \neg L8) \wedge (\neg L7V \neg L6) \wedge (\neg L7V \neg L5) \wedge (\neg L7V \neg L11) \wedge (\neg L7V \neg L15) \wedge (\neg L7V \neg L3) \wedge (L6VL5VL8VL3VL11VL15VL7) \wedge (\neg L8V \neg L7) \wedge (\neg L8V \neg L6) \wedge (\neg L8V \neg L5) \wedge (\neg L8V \neg L12) \wedge (\neg L8V \neg L16) \wedge (\neg L8V \neg L4) \wedge (L7VL6VL5VL4VL12VL16VL8) \wedge (\neg L9V \neg L10) \wedge (\neg L9V \neg L11) \wedge (\neg L9V \neg L12) \wedge (\neg L9V \neg L13) \wedge (\neg L9V \neg L5) \wedge (\neg L9V \neg L1) \wedge (L10VL11VL12VL5VL1VL13VL9) \wedge (\neg L10V \neg L11) \wedge (\neg L10V \neg L12) \wedge (\neg L10V \neg L9) \wedge (\neg L10V \neg L14) \wedge (\neg L10V \neg L6) \wedge (\neg L10V \neg L2) \wedge (L9VL11VL12VL6VL2VL14VL10) \wedge (\neg L11V \neg L12) \wedge (\neg L11V \neg L10) \wedge (\neg L11V \neg L9) \wedge (\neg L11V \neg L15) \wedge (\neg L11V \neg L7) \wedge (\neg L11V \neg L3) \wedge (L10VL9VL12VL7VL3VL15VL11) \wedge (\neg L12V \neg L11) \wedge (\neg L12V \neg L10) \wedge (\neg L12V \neg L9) \wedge (\neg L12V \neg L16) \wedge (\neg L12V \neg L8) \wedge (\neg L12V \neg L4) \wedge (L11VL10VL9VL8VL4VL16VL12) \wedge (\neg L13V \neg L14) \wedge (\neg L13V \neg L15) \wedge (\neg L13V \neg L16) \wedge (\neg L13V \neg L9) \wedge (\neg L13V \neg L5) \wedge (\neg L13V \neg L1) \wedge (L14VL15VL16VL9VL5VL1VL13) \wedge (\neg L14V \neg L15) \wedge (\neg L14V \neg L16) \wedge (\neg L14V \neg L13) \wedge (\neg L14V \neg L10) \wedge (\neg L14V \neg L6) \wedge (\neg L14V \neg L2) \wedge (L13VL15VL16VL10VL6VL2VL14) \wedge (\neg L15V \neg L16) \wedge (\neg L15V \neg L14) \wedge (\neg L15V \neg L13) \wedge (\neg L15V \neg L11) \wedge (\neg L15V \neg L7) \wedge (\neg L15V \neg L3) \wedge (L14VL13VL16VL11VL7VL3VL15) \wedge (\neg L16V \neg L15) \wedge (\neg L16V \neg L14) \wedge (\neg L16V \neg L13) \wedge (\neg L16V \neg L12) \wedge (\neg L16V \neg L8) \wedge (\neg L16V \neg L4) \wedge (L15VL14VL13VL12VL8VL4VL16)$

Soluion : [L4, L7, L9, L14] OK

## 2.cas de la carte avec mur uniquement

```

@Moyu117 →/workspaces/INF402TEST/INF402_TEST-main (main) $ python3 main.py puzzle/test.txt
Loaded puzzle:
. .
. X
SAT solution found:
[L1]
Updated puzzle:
L .
. X
@Moyu117 →/workspaces/INF402TEST/INF402_TEST-main (main) $

```

Taille :2x2

CNF :  $(\neg L1V \neg L2) \wedge (\neg L1V \neg L3) \wedge (L2VL3VL1) \wedge (\neg L2V \neg L1) \wedge (L1VL2) \wedge (\neg L3V \neg L1) \wedge (L1VL3) \wedge (\neg L4) \wedge (\neg L4V \neg L3) \wedge (\neg L4V \neg L2)$

Soluion : [L1] OK

```
@Moyu117 →/workspaces/INF402TEST/INF402_TEST-main (main) $ python3 main.py puzzle/test.txt
Loaded puzzle:
. X .
X . .
. X .
SAT solution found:
[L1, L3, L5, L7]
Updated puzzle:
L X L
X L .
L X .
```

Taille :3x3

CNF :  $(L1) \wedge (\neg L2) \wedge (\neg L2V \neg L3) \wedge (\neg L2V \neg L1) \wedge (\neg L2V \neg L5) \wedge (\neg L3V \neg L6) \wedge (\neg L3V \neg L9) \wedge (L6VL9VL3) \wedge (\neg L4) \wedge (\neg L4V \neg L5) \wedge (\neg L4V \neg L6) \wedge (\neg L4V \neg L7) \wedge (\neg L4V \neg L1) \wedge (\neg L5V \neg L6) \wedge (L6VL5) \wedge (\neg L6V \neg L5) \wedge (\neg L6V \neg L9) \wedge (\neg L6V \neg L3) \wedge (L5VL3VL9VL6) \wedge (L7) \wedge (\neg L8) \wedge (\neg L8V \neg L9) \wedge (\neg L8V \neg L7) \wedge (\neg L8V \neg L5) \wedge (\neg L9V \neg L6) \wedge (\neg L9V \neg L3) \wedge (L6VL3VL9)$

Soluion : [L1, L3, L5, L7] OK

```
@Moyu117 →/workspaces/INF402TEST/INF402_TEST-main (main) $ python3 main.py puzzle/test.txt
Loaded puzzle:
. X . X
X . X .
. X . X
X . X .
SAT solution found:
[L1, L3, L6, L8, L9, L11, L14, L16]
Updated puzzle:
L X L X
X L X L
L X L X
X L X L
@Moyu117 →/workspaces/INF402TEST/INF402_TEST-main (main) $
```

Taille :4x4

CNF :  $(L1) \wedge (\neg L2) \wedge (\neg L2V \neg L3) \wedge (\neg L2V \neg L1) \wedge (\neg L2V \neg L6) \wedge (L3) \wedge (\neg L4) \wedge (\neg L4V \neg L3) \wedge (\neg L4V \neg L8) \wedge (\neg L5) \wedge (\neg L5V \neg L6) \wedge (\neg L5V \neg L9) \wedge (\neg L5V \neg L1) \wedge (L6) \wedge (\neg L7) \wedge (\neg L7V \neg L8) \wedge (\neg L7V \neg L6) \wedge (\neg L7V \neg L11) \wedge (\neg L7V \neg L3) \wedge (L8) \wedge (L9) \wedge (\neg L10) \wedge (\neg L10V \neg L11) \wedge (\neg L10V \neg L9) \wedge (\neg L10V \neg L14) \wedge (\neg L10V \neg L6) \wedge (L11) \wedge (\neg L12) \wedge (\neg L12V \neg L11) \wedge (\neg L12V \neg L16) \wedge (\neg L12V \neg L8) \wedge (\neg L13) \wedge (\neg L13V \neg L14) \wedge (\neg L13V \neg L9) \wedge (L14) \wedge (\neg L15) \wedge (\neg L15V \neg L16) \wedge (\neg L15V \neg L14) \wedge (\neg L15V \neg L11) \wedge (L16)$

Soluion : [L1, L3, L6, L8, L9, L11, L14, L16] OK

### 3.cas genrale

```
@Moyu117 →/workspaces/INF402TEST/INF402_TEST-main (main) $ python3 main.py puzzle/test.txt
Loaded puzzle:
0 . X
. . .
1 . X
SAT solution found:
[L6, L8]
Updated puzzle:
0 . X
. . L
1 L X
@Moyu117 →/workspaces/INF402TEST/INF402_TEST-main (main) $
```

Taille :3x3

CNF :  $(\neg L4) \wedge (\neg L2) \wedge (\neg L1V \neg L2) \wedge (\neg L1V \neg L4) \wedge (\neg L2V \neg L5) \wedge (\neg L2V \neg L8) \wedge (L5VL8VL2) \wedge (\neg L3) \wedge (\neg L3V \neg L2) \wedge (\neg L3V \neg L6) \wedge (\neg L4V \neg L5) \wedge (\neg L4V \neg L6) \wedge (L5VL6VL4) \wedge (\neg L5V \neg L6) \wedge (\neg L5V \neg L4) \wedge (\neg L5V \neg L8) \wedge (\neg L5V \neg L2) \wedge (L4VL6VL2VL8VL5) \wedge (\neg L6V \neg L5) \wedge (\neg L6V \neg L4) \wedge (L5VL4VL6) \wedge (L4VL8) \wedge (\neg L4V \neg L8) \wedge (\neg L7V \neg L8) \wedge (\neg L7V \neg L4) \wedge (\neg L8V \neg L5) \wedge (\neg L8V \neg L2) \wedge (L5VL2VL8) \wedge (\neg L9) \wedge (\neg L9V \neg L8) \wedge (\neg L9V \neg L6)$

Soluion : [L6, L8] OK

```
@Moyu117 →/workspaces/INF402TEST/INF402_TEST-main (main) $ python3 main.py puzzle/test.txt
Loaded puzzle:
. . .
. 4 .
. . .
SAT solution found:
[L2, L4, L6, L8]
Updated puzzle:
. L .
L 4 L
. L .
@Moyu117 →/workspaces/INF402TEST/INF402_TEST-main (main) $
```

Taille :3x3

CNF :  $(\neg L1V \neg L2) \wedge (\neg L1V \neg L3) \wedge (\neg L1V \neg L4) \wedge (\neg L1V \neg L7) \wedge (L2VL3VL4VL7VL1) \wedge (\neg L2V \neg L3) \wedge (\neg L2V \neg L1) \wedge (L1VL3VL2) \wedge (\neg L3V \neg L2) \wedge (\neg L3V \neg L1) \wedge (\neg L3V \neg L6) \wedge (\neg L3V \neg L9) \wedge (L2VL1VL6VL9VL3) \wedge (\neg L4V \neg L7) \wedge (\neg L4V \neg L1) \wedge (L1VL7VL4) \wedge (L2) \wedge (L8) \wedge (L4) \wedge (L6) \wedge (\neg L5V \neg L6) \wedge (\neg L5V \neg L4) \wedge (\neg L5V \neg L8) \wedge (\neg L5V \neg L2) \wedge (\neg L6V \neg L9) \wedge (\neg L6V \neg L3) \wedge (L3VL9VL6) \wedge (\neg L7V \neg L8) \wedge (\neg L7V \neg L9) \wedge (\neg L7V \neg L4) \wedge (\neg L7V \neg L1) \wedge (L8VL9VL4VL1VL7) \wedge (\neg L8V \neg L9) \wedge (\neg L8V \neg L7) \wedge (L7VL9VL8) \wedge (\neg L9V \neg L8) \wedge (\neg L9V \neg L7) \wedge (\neg L9V \neg L6) \wedge (\neg L9V \neg L3) \wedge (L8VL7VL6VL3VL9)$

Soluion : [L2, L4, L6, L8] OK

## cas complexe

```
@Moyu117 →/workspaces/INF402TEST/INF402_TEST-main (main) $ python3 main.py puzzle/test.txt
Loaded puzzle:
. . . . .
. X . 4 .
. . . . .
. 0 . 1 .
. . . . .
SAT solution found:
[L4, L8, L10, L14, L21]
Updated puzzle:
. . . L .
. X L 4 L
. . . L .
. 0 . 1 .
L . . . .
@Moyu117 →/workspaces/INF402TEST/INF402_TEST-main (main) $
```

Taille :5x5

CNF :  $(\neg L1V \neg L2) \wedge (\neg L1V \neg L3) \wedge (\neg L1V \neg L4) \wedge (\neg L1V \neg L5) \wedge (\neg L1V \neg L6) \wedge (\neg L1V \neg L11) \wedge (\neg L1V \neg L16) \wedge (\neg L1V \neg L21) \wedge (L2VL3VL4VL5VL6VL11VL16VL21VL1) \wedge (\neg L2V \neg L3) \wedge (\neg L2V \neg L4) \wedge (\neg L2V \neg L5) \wedge (\neg L2V \neg L1) \wedge (L1VL3VL4VL5VL2) \wedge (\neg L3V \neg L4) \wedge (\neg L3V \neg L5) \wedge (\neg L3V \neg L2) \wedge (\neg L3V \neg L1) \wedge (\neg L3V \neg L8) \wedge (\neg L3V \neg L13) \wedge (\neg L3V \neg L18) \wedge (\neg L3V \neg L23) \wedge (L2VL1VL4VL5VL8VL13VL18VL23VL3) \wedge (\neg L4V \neg L5) \wedge (\neg L4V \neg L3) \wedge (\neg L4V \neg L2) \wedge (\neg L4V \neg L1) \wedge (L3VL2VL1VL5VL4) \wedge (\neg L5V \neg L4) \wedge (\neg L5V \neg L3) \wedge (\neg L5V \neg L2) \wedge (\neg L5V \neg L1) \wedge (\neg L5V \neg L10) \wedge (\neg L5V \neg L15) \wedge (\neg L5V \neg L20) \wedge (\neg L5V \neg L25) \wedge$

$(L4VL3VL2VL1VL10VL15VL20VL25VL5) \wedge (\neg L6V \neg L11) \wedge (\neg L6V \neg L16) \wedge (\neg L6V \neg L21) \wedge (\neg L6V \neg L1) \wedge (L1VL11VL16VL21VL6) \wedge$   
 $(\neg L7) \wedge (\neg L7V \neg L8) \wedge (\neg L7V \neg L6) \wedge (\neg L7V \neg L12) \wedge (\neg L7V \neg L2) \wedge (\neg L8V \neg L13) \wedge (\neg L8V \neg L18) \wedge (\neg L8V \neg L23) \wedge (\neg L8V \neg L3) \wedge$   
 $(L3VL13VL18VL23VL8) \wedge (L4) \wedge (L14) \wedge (L8) \wedge (L10) \wedge (\neg L9V \neg L10) \wedge (\neg L9V \neg L8) \wedge (\neg L9V \neg L14) \wedge (\neg L9V \neg L4) \wedge (\neg L10V \neg L15) \wedge$   
 $(\neg L10V \neg L20) \wedge (\neg L10V \neg L25) \wedge (\neg L10V \neg L5) \wedge (L5VL15VL20VL25VL10) \wedge (\neg L11V \neg L12) \wedge (\neg L11V \neg L13) \wedge (\neg L11V \neg L14) \wedge$   
 $(\neg L11V \neg L15) \wedge (\neg L11V \neg L16) \wedge (\neg L11V \neg L21) \wedge (\neg L11V \neg L6) \wedge (\neg L11V \neg L1) \wedge (L12VL13VL14VL15VL6VL1VL16VL21VL11) \wedge$   
 $(\neg L12V \neg L13) \wedge (\neg L12V \neg L14) \wedge (\neg L12V \neg L15) \wedge (\neg L12V \neg L11) \wedge (L11VL13VL14VL15VL12) \wedge (\neg L13V \neg L14) \wedge (\neg L13V \neg L15) \wedge$   
 $(\neg L13V \neg L12) \wedge (\neg L13V \neg L11) \wedge (\neg L13V \neg L18) \wedge (\neg L13V \neg L23) \wedge (\neg L13V \neg L8) \wedge (\neg L13V \neg L3) \wedge$   
 $(L12VL11VL14VL15VL8VL3VL18VL23VL13) \wedge (\neg L14V \neg L15) \wedge (\neg L14V \neg L13) \wedge (\neg L14V \neg L12) \wedge (\neg L14V \neg L11) \wedge$   
 $(L13VL12VL11VL15VL14) \wedge (\neg L15V \neg L14) \wedge (\neg L15V \neg L13) \wedge (\neg L15V \neg L12) \wedge (\neg L15V \neg L11) \wedge (\neg L15V \neg L20) \wedge (\neg L15V \neg L25) \wedge$   
 $(\neg L15V \neg L10) \wedge (\neg L15V \neg L5) \wedge (L14VL13VL12VL11VL10VL5VL20VL25VL15) \wedge (\neg L16V \neg L21) \wedge (\neg L16V \neg L11) \wedge (\neg L16V \neg L6) \wedge$   
 $(\neg L16V \neg L1) \wedge (L11VL6VL1VL21VL16) \wedge (\neg L12) \wedge (\neg L22) \wedge (\neg L16) \wedge (\neg L18) \wedge (\neg L17V \neg L18) \wedge (\neg L17V \neg L16) \wedge (\neg L17V \neg L22) \wedge$   
 $(\neg L17V \neg L12) \wedge (\neg L18V \neg L23) \wedge (\neg L18V \neg L13) \wedge (\neg L18V \neg L8) \wedge (\neg L18V \neg L3) \wedge (L13VL8VL3VL23VL18) \wedge (L14VL24VL18VL20) \wedge$   
 $(\neg L14V \neg L24) \wedge (\neg L14V \neg L18) \wedge (\neg L14V \neg L20) \wedge (\neg L24V \neg L18) \wedge (\neg L24V \neg L20) \wedge (\neg L18V \neg L20) \wedge (\neg L19V \neg L20) \wedge (\neg L19V \neg L18) \wedge$   
 $(\neg L19V \neg L24) \wedge (\neg L19V \neg L14) \wedge (\neg L20V \neg L25) \wedge (\neg L20V \neg L15) \wedge (\neg L20V \neg L10) \wedge (\neg L20V \neg L5) \wedge (L15VL10VL5VL25VL20) \wedge$   
 $(\neg L21V \neg L22) \wedge (\neg L21V \neg L23) \wedge (\neg L21V \neg L24) \wedge (\neg L21V \neg L25) \wedge (\neg L21V \neg L16) \wedge (\neg L21V \neg L11) \wedge (\neg L21V \neg L6) \wedge (\neg L21V \neg L1) \wedge$   
 $(L22VL23VL24VL25VL16VL11VL6VL1VL21) \wedge (\neg L22V \neg L23) \wedge (\neg L22V \neg L24) \wedge (\neg L22V \neg L25) \wedge (\neg L22V \neg L21) \wedge$   
 $(L21VL23VL24VL25VL22) \wedge (\neg L23V \neg L24) \wedge (\neg L23V \neg L25) \wedge (\neg L23V \neg L22) \wedge (\neg L23V \neg L21) \wedge (\neg L23V \neg L18) \wedge (\neg L23V \neg L13) \wedge$   
 $(\neg L23V \neg L8) \wedge (\neg L23V \neg L3) \wedge (L22VL21VL24VL25VL18VL13VL8VL3VL23) \wedge (\neg L24V \neg L25) \wedge (\neg L24V \neg L23) \wedge (\neg L24V \neg L22) \wedge$   
 $(\neg L24V \neg L21) \wedge (L23VL22VL21VL25VL24) \wedge (\neg L25V \neg L24) \wedge (\neg L25V \neg L23) \wedge (\neg L25V \neg L22) \wedge (\neg L25V \neg L21) \wedge (\neg L25V \neg L20) \wedge$   
 $(\neg L25V \neg L15) \wedge (\neg L25V \neg L10) \wedge (\neg L25V \neg L5) \wedge (L24VL23VL22VL21VL20VL15VL10VL5VL25)$

Soluion : [L4, L8, L10, L14, L21] OK

```

@Moyu117 → /workspaces/INF402TEST/INF402_TEST-main (main) $ python3 main.py puzzle/test.txt
Loaded puzzle:
. . . .
1 X . X .
X . . 0 .
. 4 . .
. . . X
SAT solution found:
[L1, L10, L12, L16, L18, L22]
Updated puzzle:
L . . .
1 X . X L
X L . 0 .
L 4 L .
. L . . X

```

Taille :5x5

**CNF :**  $(\neg L1V \neg L2) \wedge (\neg L1V \neg L3) \wedge (\neg L1V \neg L4) \wedge (\neg L1V \neg L5) \wedge (L2VL3VL4VL5VL1) \wedge (\neg L2V \neg L3) \wedge (\neg L2V \neg L4) \wedge (\neg L2V \neg L5) \wedge$   
 $(\neg L2V \neg L1) \wedge (L1VL3VL4VL5VL2) \wedge (\neg L3V \neg L4) \wedge (\neg L3V \neg L5) \wedge (\neg L3V \neg L2) \wedge (\neg L3V \neg L1) \wedge (\neg L3V \neg L8) \wedge (\neg L3V \neg L13) \wedge$   
 $(\neg L3V \neg L18) \wedge (\neg L3V \neg L23) \wedge (L2VL1VL4VL5VL8VL13VL18VL23VL3) \wedge (\neg L4V \neg L5) \wedge (\neg L4V \neg L3) \wedge (\neg L4V \neg L2) \wedge (\neg L4V \neg L1) \wedge$   
 $(L3VL2VL1VL5VL4) \wedge (\neg L5V \neg L4) \wedge (\neg L5V \neg L3) \wedge (\neg L5V \neg L2) \wedge (\neg L5V \neg L1) \wedge (\neg L5V \neg L10) \wedge (\neg L5V \neg L15) \wedge (\neg L5V \neg L20) \wedge$   
 $(L4VL3VL2VL1VL10VL15VL20VL5) \wedge (L1VL11VL7) \wedge (\neg L1V \neg L11) \wedge (\neg L1V \neg L7) \wedge (\neg L11V \neg L7) \wedge (\neg L6V \neg L1) \wedge (\neg L7) \wedge (\neg L7V \neg L8) \wedge$   
 $(\neg L7V \neg L12) \wedge (\neg L7V \neg L2) \wedge (\neg L8V \neg L13) \wedge (\neg L8V \neg L18) \wedge (\neg L8V \neg L23) \wedge (\neg L8V \neg L3) \wedge (L3VL13VL18VL23VL8) \wedge (\neg L9) \wedge$   
 $(\neg L9V \neg L10) \wedge (\neg L9V \neg L8) \wedge (\neg L9V \neg L4) \wedge (\neg L10V \neg L15) \wedge (\neg L10V \neg L20) \wedge (\neg L10V \neg L5) \wedge (L5VL15VL20VL10) \wedge (\neg L11) \wedge$   
 $(\neg L11V \neg L12) \wedge (\neg L11V \neg L13) \wedge (\neg L11V \neg L16) \wedge (\neg L11V \neg L21) \wedge (\neg L12V \neg L13) \wedge (L13VL12) \wedge (\neg L13V \neg L12) \wedge (\neg L13V \neg L18) \wedge$   
 $(\neg L13V \neg L23) \wedge (\neg L13V \neg L8) \wedge (\neg L13V \neg L3) \wedge (L12VL8VL3VL18VL23VL13) \wedge (\neg L9) \wedge (\neg L19) \wedge (\neg L13) \wedge (\neg L15) \wedge (\neg L14V \neg L15) \wedge$   
 $(\neg L14V \neg L13) \wedge (\neg L14V \neg L12) \wedge (\neg L14V \neg L19) \wedge (\neg L14V \neg L24) \wedge (\neg L15V \neg L20) \wedge (\neg L15V \neg L10) \wedge (\neg L15V \neg L5) \wedge$   
 $(L10VL5VL20VL15) \wedge (\neg L16V \neg L21) \wedge (L21VL16) \wedge (L12) \wedge (L22) \wedge (L16) \wedge (L18) \wedge (\neg L17V \neg L18) \wedge (\neg L17V \neg L19) \wedge (\neg L17V \neg L20)$

$\neg(L17V \neg L16) \wedge \neg(L17V \neg L22) \wedge \neg(L17V \neg L12) \wedge \neg(L18V \neg L19) \wedge \neg(L18V \neg L20) \wedge \neg(L18V \neg L23) \wedge \neg(L18V \neg L13) \wedge \neg(L18V \neg L8) \wedge$   
 $\neg(L18V \neg L3) \wedge (L19V L20V L13V L8V L3V L23V L18) \wedge \neg(L19V \neg L20) \wedge \neg(L19V \neg L18) \wedge \neg(L19V \neg L24) \wedge (L18V L20V L24V L19) \wedge$   
 $\neg(L20V \neg L19) \wedge \neg(L20V \neg L18) \wedge \neg(L20V \neg L15) \wedge \neg(L20V \neg L10) \wedge \neg(L20V \neg L5) \wedge (L19V L18V L15V L10V L5V L20) \wedge \neg(L21V \neg L22) \wedge$   
 $\neg(L21V \neg L23) \wedge \neg(L21V \neg L24) \wedge \neg(L21V \neg L16) \wedge (L22V L23V L24V L16V L21) \wedge \neg(L22V \neg L23) \wedge \neg(L22V \neg L24) \wedge \neg(L22V \neg L21) \wedge$   
 $(L21V L23V L24V L22) \wedge \neg(L23V \neg L24) \wedge \neg(L23V \neg L22) \wedge \neg(L23V \neg L21) \wedge \neg(L23V \neg L18) \wedge \neg(L23V \neg L13) \wedge \neg(L23V \neg L8) \wedge$   
 $\neg(L23V \neg L3) \wedge (L22V L21V L24V L18V L13V L8V L3V L23) \wedge \neg(L24V \neg L23) \wedge \neg(L24V \neg L22) \wedge \neg(L24V \neg L21) \wedge \neg(L24V \neg L19) \wedge$   
 $(L23V L22V L21V L19V L24) \wedge \neg(L25) \wedge \neg(L25V \neg L24) \wedge \neg(L25V \neg L23) \wedge \neg(L25V \neg L22) \wedge \neg(L25V \neg L21) \wedge \neg(L25V \neg L20) \wedge$   
 $\neg(L25V \neg L15) \wedge \neg(L25V \neg L10) \wedge \neg(L25V \neg L5)$

Soluion : [L1, L10, L12, L16, L18, L22] OK

## 4.cas de non solution(Erreur de création de carte)

```

@Moyu117 →/workspaces/INF402TEST/INF402_TEST-main (main) $ python3 main.py puzzle/test.txt
Loaded puzzle:
. . .
. 2 .
. . .
No solution
@Moyu117 →/workspaces/INF402TEST/INF402_TEST-main (main) $

```

Taille :3x3

**CNF:**  $\neg(L1V \neg L2) \wedge \neg(L1V \neg L3) \wedge \neg(L1V \neg L4) \wedge \neg(L1V \neg L7) \wedge (L2V L3V L4V L7V L1) \wedge \neg(L2V \neg L3) \wedge$   
 $\neg(L2V \neg L1) \wedge (L1V L3V L2) \wedge \neg(L3V \neg L2) \wedge \neg(L3V \neg L1) \wedge \neg(L3V \neg L6) \wedge \neg(L3V \neg L9) \wedge (L2V L1V L6V L9V L3) \wedge$   
 $\neg(L4V \neg L7) \wedge \neg(L4V \neg L1) \wedge (L1V L7V L4) \wedge (L2V L8) \wedge \neg(L2V \neg L8V \neg L4) \wedge \neg(L2V \neg L8V \neg L6) \wedge (L2V L4) \wedge$   
 $\neg(L2V \neg L4V \neg L8) \wedge \neg(L2V \neg L4V \neg L6) \wedge (L2V L6) \wedge \neg(L2V \neg L6V \neg L8) \wedge \neg(L2V \neg L6V \neg L4) \wedge (L8V L4) \wedge$   
 $\neg(L8V \neg L4V \neg L2) \wedge \neg(L8V \neg L4V \neg L6) \wedge (L8V L6) \wedge \neg(L8V \neg L6V \neg L2) \wedge \neg(L8V \neg L6V \neg L4) \wedge (L4V L6) \wedge$   
 $\neg(L4V \neg L6V \neg L2) \wedge \neg(L4V \neg L6V \neg L8) \wedge \neg(L5V \neg L6) \wedge \neg(L5V \neg L4) \wedge \neg(L5V \neg L8) \wedge \neg(L5V \neg L2) \wedge \neg(L6V \neg L9) \wedge$   
 $\neg(L6V \neg L3) \wedge (L3V L9V L6) \wedge \neg(L7V \neg L8) \wedge \neg(L7V \neg L9) \wedge \neg(L7V \neg L4) \wedge \neg(L7V \neg L1) \wedge (L8V L9V L4V L1V L7) \wedge$   
 $\neg(L8V \neg L9) \wedge \neg(L8V \neg L7) \wedge (L7V L9V L8) \wedge \neg(L9V \neg L8) \wedge \neg(L9V \neg L7) \wedge \neg(L9V \neg L6) \wedge \neg(L9V \neg L3) \wedge$   
 $(L8V L7V L6V L3V L9)$

Soluion : No solution OK

```

@Moyu117 →/workspaces/INF402TEST/INF402_TEST-main (main) $ python3 main.py puzzle/test.txt
Loaded puzzle:
. X . .
. 4 . .
. . 2 .
. . . .
No solution
@Moyu117 →/workspaces/INF402TEST/INF402_TEST-main (main) $

```

Taille :2x2

**CNF:**  $\neg(L1V \neg L5) \wedge \neg(L1V \neg L9) \wedge \neg(L1V \neg L13) \wedge (L5V L9V L13V L1) \wedge \neg(L2) \wedge \neg(L2V \neg L3) \wedge \neg(L2V \neg L4) \wedge$   
 $\neg(L2V \neg L1) \wedge \neg(L3V \neg L4) \wedge \neg(L3V \neg L7) \wedge (L4V L7V L3) \wedge \neg(L4V \neg L3) \wedge \neg(L4V \neg L8) \wedge \neg(L4V \neg L12) \wedge$   
 $\neg(L4V \neg L16) \wedge (L3V L8V L12V L16V L4) \wedge \neg(L5V \neg L9) \wedge \neg(L5V \neg L13) \wedge \neg(L5V \neg L1) \wedge (L1V L9V L13V L5) \wedge (L2$   
 $\wedge (L10) \wedge (L5) \wedge (L7) \wedge \neg(L6V \neg L7) \wedge \neg(L6V \neg L8) \wedge \neg(L6V \neg L5) \wedge \neg(L6V \neg L10) \wedge \neg(L6V \neg L14) \wedge \neg(L7V \neg L8) \wedge$   
 $\neg(L7V \neg L3) \wedge (L8V L3V L7) \wedge \neg(L8V \neg L7) \wedge \neg(L8V \neg L12) \wedge \neg(L8V \neg L16) \wedge \neg(L8V \neg L4) \wedge (L7V L4V L12V L16V L8)$   
 $\wedge \neg(L9V \neg L10) \wedge \neg(L9V \neg L13) \wedge \neg(L9V \neg L5) \wedge \neg(L9V \neg L1) \wedge (L10V L5V L1V L13V L9) \wedge \neg(L10V \neg L9) \wedge$   
 $\neg(L10V \neg L14) \wedge (L9V L14V L10) \wedge (L7V L15) \wedge \neg(L7V \neg L15V \neg L10) \wedge \neg(L7V \neg L15V \neg L12) \wedge (L7V L10) \wedge$

$$\begin{aligned}
& (\neg L7V \neg L10V \neg L15) \wedge (\neg L7V \neg L10V \neg L12) \wedge (L7VL12) \wedge (\neg L7V \neg L12V \neg L15) \wedge (\neg L7V \neg L12V \neg L10) \wedge \\
& (L15VL10) \wedge (\neg L15V \neg L10V \neg L7) \wedge (\neg L15V \neg L10V \neg L12) \wedge (L15VL12) \wedge (\neg L15V \neg L12V \neg L7) \wedge \\
& (\neg L15V \neg L12V \neg L10) \wedge (L10VL12) \wedge (\neg L10V \neg L12V \neg L7) \wedge (\neg L10V \neg L12V \neg L15) \wedge (\neg L11V \neg L12) \wedge \\
& (\neg L11V \neg L10) \wedge (\neg L11V \neg L9) \wedge (\neg L11V \neg L15) \wedge (\neg L11V \neg L7) \wedge (\neg L11V \neg L3) \wedge (\neg L12V \neg L16) \wedge (\neg L12V \neg L8) \wedge \\
& (\neg L12V \neg L4) \wedge (L8VL4VL16VL12) \wedge (\neg L13V \neg L14) \wedge (\neg L13V \neg L15) \wedge (\neg L13V \neg L16) \wedge (\neg L13V \neg L9) \wedge \\
& (\neg L13V \neg L5) \wedge (\neg L13V \neg L1) \wedge (L14VL15VL16VL9VL5VL1VL13) \wedge (\neg L14V \neg L15) \wedge (\neg L14V \neg L16) \wedge \\
& (\neg L14V \neg L13) \wedge (\neg L14V \neg L10) \wedge (L13VL15VL16VL10VL14) \wedge (\neg L15V \neg L16) \wedge (\neg L15V \neg L14) \wedge (\neg L15V \neg L13) \\
& \wedge (L14VL13VL16VL15) \wedge (\neg L16V \neg L15) \wedge (\neg L16V \neg L14) \wedge (\neg L16V \neg L13) \wedge (\neg L16V \neg L12) \wedge (\neg L16V \neg L8) \wedge \\
& (\neg L16V \neg L4) \wedge (L15VL14VL13VL12VL8VL4VL16)
\end{aligned}$$

Soluion : No solution OK

## Conclusion

Grâce à ce projet, nous avons une meilleure compréhension des paradigmes logiques, des algorithmes DPLL, etc, et avons également amélioré notre niveau de programmation. Enfin, nous remercions le professeur pour son aide dans la modélisation.

## Remarque

Pour notre programme, il n'est pas parfait, et il reste encore des parties à modifier : pour le jugement des case noires avec les chiffres 2 et 3, il ne peut pas être bien contraint, et les autres peuvent très bien fonctionner.