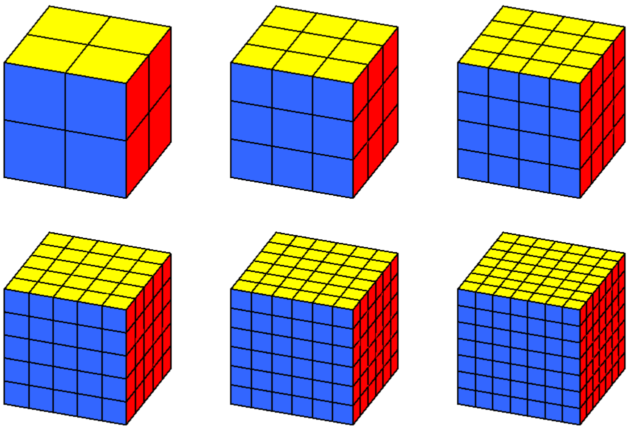
GUIDE DE RESOLUTION IMAGEE
POUR CUBES STANDARDS



par Asthalis

asthalis.fr
asthalis@free.fr

SOMMAIRE

1. A PROPOS DE CE GUIDE

En bref

Ce guide s'adresse à tous les amateurs de casse-têtes articulés de type **Rubik's Cube** et en particulier aux débutants. Son but est de proposer et de détailler une méthode de résolution accessible à tous pouvant s'appliquer à un casse-tête cubique standard quel que soit son nombre de pièces.

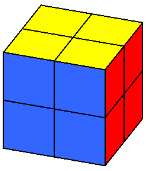


fig. 1.1
cube 2x2

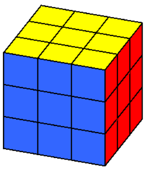


fig. 1.2
cube 3x3

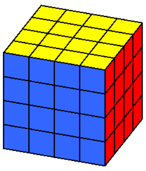


fig. 1.3
cube 4x4

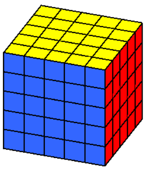


fig. 1.4
cube 5x5

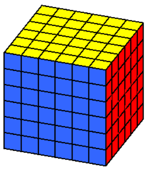


fig. 1.5
cube 6x6

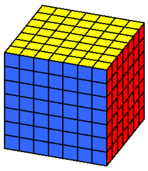


fig. 1.6
cube 7x7

Ce document unique rassemble l'ensemble des techniques simples que j'utilise dans de nombreuses VIDEOS de ma chaîne YouTube (cliquer sur le mot pour rejoindre directement leur page dédiée) pour résoudre des casse-tête de ce type. Il est le résultat de nombreuses recherches et recoupements sur le sujet et, plutôt que de viser la solution ultime ou le chronomètre, j'espère avec ce guide permettre au plus grand nombre de maîtriser facilement la résolution d'un cube standard tout en limitant au minimum le nombre d'éléments nécessaires à mémoriser.

Sa dernière version est téléchargeable à partir du lien suivant :

CREATIONS / A PROPOS DE CASSE-TETE MECANIQUES / DOCUMENTS

N.B. :
L'icône à gauche dans l'en-tête de ce document est un autre lien cliquable vers cette page.
Les 2 flèches cliquables à droite dans l'en-tête de ce document permettent de rejoindre respectivement son sommaire et sa fin.

Conditions d'utilisation

2. DEFINITIONS ET CONVENTIONS

Introduction

Avant de parler de méthode de résolution proprement dite, il est nécessaire d'en préciser le cadre et de définir certains termes et autres principes de base qui seront repris tout au long de ce guide et sur lesquels je ne reviendrai plus par la suite. C'est l'objet de cette partie. Elle vous permettra de prendre vos premiers repères et de mieux connaître ce type de casse-tête pour en faciliter la prise en main.

Qu'est-ce qu'un cube standard ?

C'est sans doute la première question à se poser pour définir clairement la famille de casse-tête à laquelle ce guide est dédié. Je désignerai à partir de maintenant par **cube standard** tout casse-tête articulé de forme cubique dont les pièces élémentaires (elles-mêmes de forme cubique) sont regroupées en rangées indépendantes, parallèles aux faces du cube et en nombre égal suivant chacune de ses 3 dimensions. Habituellement, un cube standard comporte 6 couleurs, que je détaillerai plus loin.

Pour qu'un tel casse-tête puisse être mélangé, il doit comporter un nombre minimum de 2 rangées. Le nombre de pièces visibles sur chacune de ses faces correspond logiquement au carré de ce nombre (2x2 = 4 pièces pour un cube à 2 rangées). Pour cette raison, je désignerai souvent par la suite un cube standard comportant N rangées par l'appellation **cube NxN**, ou plus simplement **NxN**. J'emploierai également l'expression équivalente de **cube d'ordre N**. Enfin, parler de **cube pair** ou **impair** est un raccourci pour désigner un cube **d'ordre pair** ou **impair**.

Le cube standard le plus connu est le **Rubik's Cube** original comportant 3 rangées mais une variante d'ordre 2 existe (2x2), ainsi que des versions plus complexes (4x4, 5x5, 6x6, etc.). A l'aide de ce guide, vous serez en mesure de résoudre un cube standard **quel que soit son ordre N**.

Que signifie résoudre un cube standard ?

Dans son état initial, un cube standard présente une couleur distincte sur chacune de ses faces. C'est son **état résolu**, que l'utilisateur doit tenter de reproduire après un mélange. Pour mélanger un cube standard, on doit tourner ses rangées les unes par rapport aux autres en diversifiant le type de rotation (90 ou 180°) et l'axe de rotation choisi pour corser le défi. Tout état différent de l'état résolu du cube est un **état mélangé**.

Thème de couleurs d'un cube standard

Si des exceptions existent, un cube standard comporte généralement les 6 couleurs suivantes : **blanc**, **jaune**, **rouge**, **orange**, **bleu** et **vert**. Dans l'état résolu du cube, ces couleurs respectent la disposition illustrée par le schéma suivant :

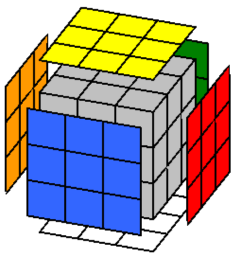


fig. 2.1
disposition typique des couleurs sur un cube standard

Selon ce schéma (*fig. 2.1*) auquel je ferai souvent allusion sous le nom de **thème standard des couleurs**, on retient que :

- le **jaune** est à l'opposé du **blanc**
- l'**orange** est à l'opposé du **rouge**
- le **vert** est à l'opposé du **bleu**

Pour être unique, ce thème standard doit obéir à une autre condition relative aux couleurs de 3 faces adjacentes. Celle-ci peut être formulée de différentes manières mais je vous propose d'adopter la suivante : les 3 trois couleurs du drapeau français (**bleu**, **blanc** et **rouge**) sont habituellement disposées dans cet ordre **selon le sens anti-horaire autour d'un coin du cube** dans son état résolu. Comme on le verra plus loin, la bonne connaissance de cette disposition est essentielle pour la résolution des cubes standards.

A noter que, sur certains cubes :

- le **blanc** est parfois remplacé par le **noir**
- le **rouge** est parfois remplacé par le **rose**

Pièces d'un cube standard

Si on prend comme référence un cube 3x3, on peut distinguer 3 types de pièces apparentes :

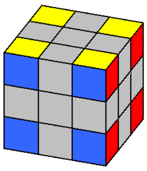


fig. 2.2
coins

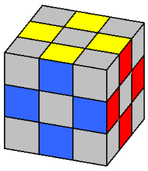


fig. 2.3
arêtes

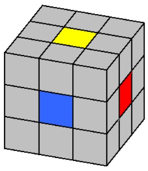


fig. 2.4
centres

- des **coins**, à la jonction de 3 faces adjacentes du cube et portant chacun 3 couleurs différentes (*fig. 2.2*)
- des **arêtes**, à la frontière entre 2 faces adjacentes du cube et portant chacune 2 couleurs différentes (*fig. 2.3*)
- des **centres**, au milieu des faces du cube et ne portant chacun qu'une seule couleur (*fig. 2.4*)

Faces et rangées d'un cube standard

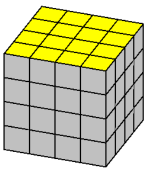


fig. 2.5
face

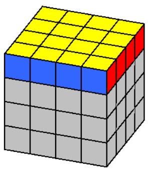


fig. 2.6
rangée externe

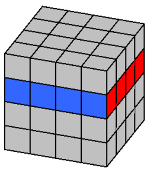


fig. 2.7
rangée interne

- une **face** est un **ensemble de facettes** de certaines pièces du cube situées dans un **plan commun** (*fig. 2.5*)
- une **rangée** est un **ensemble de pièces** du cube traversées par un **plan vertical ou horizontal commun** (*fig. 2.6-2.7*)

Une rangée est dite **externe** si elle est constituée de pièces appartenant toutes à une même face du cube (*fig. 2.6*) ou **interne** si elle est plus proche du centre du cube (*fig. 2.7*). Par abus de langage, on dit parfois qu'on « tourne une face » alors qu'on tourne une **rangée externe** en pratique.

Repérage spatial sur un cube standard

Après avoir défini l'essentiel des éléments d'un cube standard, on doit les repérer précisément dans l'espace pour faciliter la description de la résolution. Pour cela, on commence par définir la **face avant** du cube comme étant la plus proche de son utilisateur.

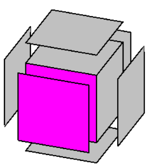


fig. 2.8
face avant
*(**F**)*

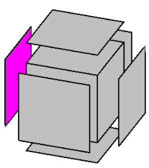


fig. 2.9
face gauche
*(**L**)*

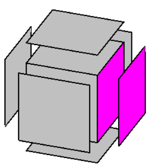


fig. 2.10
face droite
*(**R**)*

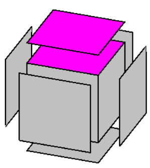


fig. 2.11
face supérieure
*(**U**)*

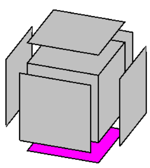


fig. 2.12
face inférieure
*(**D**)*

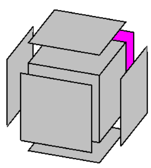


fig. 2.13
face arrière
*(**B**)*

Relativement à cette face avant, on définit ensuite intuitivement les faces gauche, droite, supérieure, inférieure et arrière d'un cube, comme indiqué ci-dessus. A noter que le nom d'une face n'a **aucun rapport avec les couleurs qu'elle porte**, il correspond seulement à la disposition de cette face sur le cube, la couleur magenta ne faisant pas partie des 6 couleurs standards et servant uniquement à repérer sur les schémas ci-dessus la position de la face correspondante. Pour repérer une face sur un cube standard, on la désigne souvent par une lettre unique, selon la notation suivante :

- **F** désigne la face avant (**F**ront en anglais, *fig. 2.8*)
- **L** désigne la face gauche (**L**eft en anglais, *fig. 2.9*)
- **R** désigne la face droite (**R**ight en anglais, *fig. 2.10*)
- **U** désigne la face supérieure (**U**p en anglais, *fig. 2.11*)
- **D** désigne la face inférieure (**D**own en anglais, *fig. 2.12*)
- **B** désigne la face arrière (**B**ack en anglais, *fig. 2.13*)

Parfois, je parlerai de **face latérale** du cube pour désigner une face n'étant ni la face supérieure, ni la face inférieure.

Rotations sur un cube standard

Maintenant que les pièces d'un cube standard sont identifiées et ses faces repérées, il reste à préciser la nature des rotations permettant son mélange et sa résolution. Si on se focalise sur les 6 rangées externes du cube, chacune peut être tournée de 3 manières : de 90° dans le sens horaire, de 90° dans le sens anti-horaire ou de 180°.

Pour définir le sens d'une rotation, on considère que l'utilisateur du cube a la rangée à tourner **face à lui**, même s'il tient le cube d'une autre manière pour les besoins de la résolution.

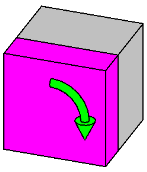


fig. 2.14
rotation directe
(90° horaire)

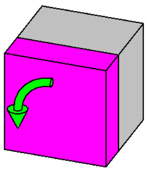


fig. 2.15
rotation indirecte
(90° anti-horaire)

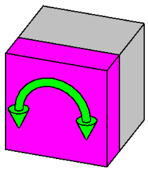


fig. 2.16
demi-tour
(±180°)

- Dans le cas d'une rotation dite **directe**, la rangée est tournée d'un **quart de tour** dans le **sens horaire** (*fig. 2.14*)
- Dans le cas d'une rotation dite **indirecte**, la rangée est tournée d'un **quart de tour** dans le **sens anti-horaire** (*fig. 2.15*)
- Dans le cas d'un **demi-tour**, la rangée est tournée de 180°, suivant le sens horaire ou anti-horaire (*fig. 2.16*)

La double flèche (*fig. 2.16*) est là pour rappeler que le sens de la rotation est **indifférent** dans le cas d'un **demi-tour** puisque le résultat de la rotation est identique.

Notation standard

Une notation standard existe pour décrire une rotation sur le cube. Si on se limite aux rotations de ses rangées externes :

- une rotation **directe** d'une rangée externe est notée avec la lettre correspondant à la face associée (**F**, **U**, **R**, etc.)
- une rotation **indirecte** est notée de la même manière mais en y ajoutant le symbole « prime » (**F'**, **U'**, **R'**, etc.)
- une rotation d'un **demi-tour** est notée comme une rotation directe mais en ajoutant « 2 » après la lettre de la face associée (**F2**, **U2**, **R2**, etc.)

Voici quelques exemples sur un cube 3x3 :

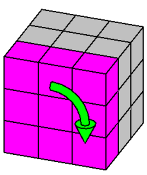


fig. 2.17
rotation directe
de la rangée avant
*(**F**)*

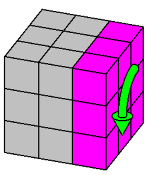


fig. 2.18
rotation indirecte
de la rangée droite
*(**R'**)*

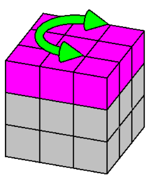


fig. 2.19
demi-tour
de la rangée
supérieure
*(**U2**)*

Dans la suite de ce guide, je ne m'attarderai pas sur cette notation standard. Je la mentionnerai simplement en parallèle à celle que j'ai personnellement adoptée (voir paragraphe suivant) pour ne pas dérouter ses utilisateurs habituels au cours de la résolution.

Notation « face avant »

Dans le titre du guide, je parle de **résolution imagée**. J'utilise volontairement cette expression pour insister sur un principe fondamental que j'adopterai dans toute la suite de ce document : plutôt que de m'attacher à la notation conventionnelle par lettres pour décrire les rotations élémentaires d'un cube standard, j'ai choisi de mettre en avant une représentation plus visuelle, favorisant la « mémoire gestuelle » et permettant d'apprendre rapidement des enchaînements de rotations en utilisant des images ou situations évocatrices pouvant souvent se résumer à un simple mot (ascenseur, coffre-fort, etc.).

Pour mémoriser plus facilement les rotations d'un cube, j'ai choisi de les représenter telles qu'elles sont vues depuis sa **face avant**, celle que l'utilisateur a le plus souvent devant lui. Voici quelques exemples de notation « face avant » :

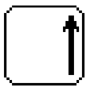


fig. 2.20
*la rangée droite « monte » (**R**)*

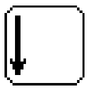


fig. 2.21
*la rangée gauche « descend » (**L**)*

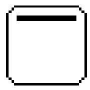


fig. 2.22
*demi-tour de la rangée supérieure (**U2**)*

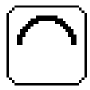


fig. 2.23
*demi-tour de la rangée avant (**F2**)*

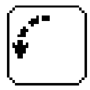


fig. 2.24
*la rangée arrière « tourne à gauche » (**U2**)*

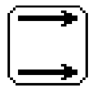


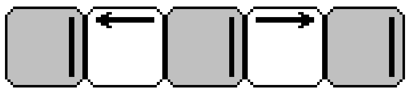
fig. 2.25
*les rangées supérieure et inférieure « tournent à droite » (**U'D**)*

Selon les principes de cette notation :

- une **simple flèche** indique une **rotation à 90°** d'une rangée du cube (*fig. 2.20/2.21*)
- une **absence de flèche** (sens indifférent) indique une **rotation à 180°** d'une rangée du cube (*fig. 2.22/2.23*)
- une **flèche en pointillés** indique une **rotation de la rangée arrière du cube** (vue en transparence à travers la face avant, *fig. 2.24*)
- les rotations de plusieurs rangées peuvent être décrites sur un même diagramme (*fig. 2.25*)

Algorithmes, permutations et orientations

Parmi les rotations nécessaires à la résolution d'un cube standard, certains enchaînements sont plus fréquemment utilisés que d'autres et doivent parfois être répétés : on parle alors d'**algorithmes**. Ils comportent un certain nombre de rotations (jusqu'à une quinzaine pour les plus longs) mais peuvent être facilement mémorisés en adoptant le principe de la résolution imagée. Voici un exemple d'algorithme à 5 rotations avec le nom que je lui ai donné :



R2 U R2 U' R2
ALGORITHME DE L'ASCENSEUR

N.B. : Chaque nouvel algorithme est détaillé dans ce guide à l'étape de résolution correspondante et tous les algorithmes nécessaires à la résolution d'un cube standard sont regroupés dans l'annexe du document, avec le détail de leurs effets. L'usage de couleurs différentes pour certains symboles a pour seul but de repérer plus facilement certaines similarités ou répétitions de motifs dans l'écriture de l'algorithme, afin de faciliter leur apprentissage et leur mémorisation.

Chaque algorithme a un rôle particulier dans la résolution car il réarrange d'une certaine manière plusieurs pièces sur le cube. Parmi ces réarrangements possibles, on distingue 2 catégories : les **permutations** et les **réorientations**.

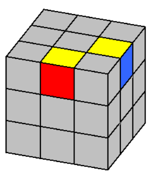


fig. 2.26
2 arêtes supérieures avant permutation

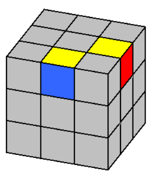


fig. 2.27
2 arêtes supérieures après permutation

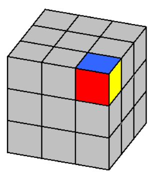


fig. 2.28
coin supérieur avant réorientation

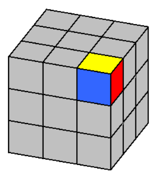


fig. 2.29
coin supérieur après réorientation

- une **permutation** est un **échange de positions** entre plusieurs pièces du cube (*fig. 2.26/2.27*)
- une **réorientation** est la **modification de la disposition des couleurs** d'une pièce sur le cube (*fig. 2.28/2.29*)

Le nombre d'orientations possibles d'une pièce du cube dépend directement de son nombre de couleurs :

- un **coin** a **3 orientations** possibles (3 couleurs différentes)
- une **arête** a **2 orientations** possibles (2 couleurs différentes)
- on ne peut pas déterminer visuellement l'**orientation d'un centre** car il n'a qu'**une seule couleur**

Schémas et code de couleur

Comme vous l'avez sans doute déjà constaté, ce guide utilise de nombreux schémas pour faciliter le repérage des pièces sur un cube standard. Pour chacun d'eux, j'utilise le même **code de couleurs**, que je détaille ici (*fig. 2.30*) :

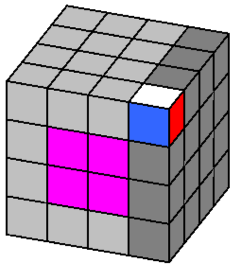


fig. 2.30
cube-exemple pour code de couleurs

- les couleurs **blanc**, **jaune**, **rouge**, **orange**, **bleu** et **vert** correspondent aux **couleurs réelles** de pièces sur le cube (ici, celles du coin avant-droit dans la rangée supérieure du cube)
- le **gris clair** indique une facette de pièce de **couleur quelconque**, sans importance particulière pour une étape donnée de la résolution (ici, la quasi-totalité des facettes des 3 rangées gauches du cube)
- le **gris foncé** appliqué à une **rangée entière du cube** rappelle que cette rangée **a été tournée à l'étape précédente de la résolution** (ici, la rangée externe droite du cube)
- le **magenta** est utilisé pour **attirer l'attention de l'utilisateur** sur une pièce particulière, un groupe de pièces particulier ou un emplacement particulier sur le cube (ici, les 4 pièces centrales de la face avant du cube)

Chronologie du guide et principe de transposition

Vous disposez à présent de tous les pré-requis nécessaires pour commencer la résolution d'un cube standard. Bravo !

La suite de ce guide est découpée en plusieurs chapitres correspondant chacun à un type spécifique de cube standard (3x3, 2x2, 4x4, etc.). La chronologie de lecture de ce document est essentielle car les techniques de résolution appliquées à un type de cube standard sont directement transposées aux cubes d'ordre supérieur et je ne reprendrai pas en détail une notion déjà abordée.

Vous êtes prêt ? La résolution peut commencer !

3. RESOLUTION DU CUBE STANDARD 3X3

Introduction

J'ai choisi de commencer la résolution des cubes standards par le **cube 3x3** pour 2 raisons principales. La première est qu'il est sans conteste le type de cube le plus connu du grand public et le plus facile à trouver si vous décidez de vous lancer dans l'aventure. La seconde est qu'il constitue une excellente base d'apprentissage et de compréhension pour l'ensemble des cubes standards.

En particulier, le 3x3 est le premier cube de la famille à comporter les 3 types de pièces possibles (coins, arêtes et centres), chacune ayant ses caractéristiques propres et impliquant des techniques de mise en place différentes. Un cube 3x3 comporte 26 pièces réparties en 8 coins, 12 arêtes et 6 centres. Comme pour l'ensemble des cubes standards, ces 3 types de pièces ne sont pas interchangeables par des rotations et le cube conserve sa forme initiale quel que soit son état.

Plusieurs notions essentielles sont abordées dans la résolution du 3x3 :

- **centres fixes**
- **principe de résolution étagée**
- **choix de la première couleur**
- **algorithmes « imagés »**

Centres fixes

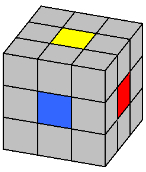


fig. 3.1
centres sur un 3x3

L'une des caractéristiques importantes du 3x3 apparaît dès que l'on tourne l'une de ses rangées externes : parmi les pièces qui la composent, seule la pièce centrale reste immobile sur le cube. Rien de plus logique puisque cette pièce est située exactement sur l'axe de rotation de la face. Ainsi, **tous les centres d'un 3x3 sont fixes** (*fig. 3.1*). Cette propriété implique 2 conséquences directes :

- la disposition relative des couleurs de 6 centres est toujours la même (elle correspond au thème de couleurs standard d'un tel cube)
- chaque face portant sa propre couleur dans l'état résolu du cube, c'est la couleur de son centre qui impose la couleur de la face

Principe de résolution étagée

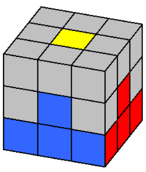


fig. 3.2
rangée inférieure résolue

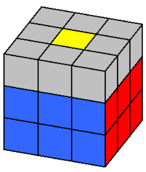


fig. 3.3
rangées inférieure et équatoriale résolues

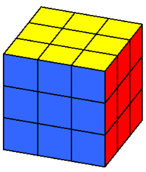


fig. 3.4
rangées inférieure, équatoriale et supérieure résolues

Contrairement à ce que pensent de nombreux néophytes, on ne résout pas un cube face par face ! La méthode la plus simple est de le faire **rangée par rangée**, en commençant par le bas : après avoir défini une **rangée inférieure**, on la résout en tant que telle (*fig. 3.2*) (c'est-à-dire qu'on résout la face inférieure du cube tout en garantissant une correspondance de couleurs entre ses pièces sur les flancs de cette rangée) puis on passe à la rangée du dessus (*fig. 3.3*) (que j'appellerai **rangée équatoriale** par la suite) et on termine la résolution par la **rangée supérieure** du cube (*fig. 3.4*).

Concrètement, la rangée inférieure est la plus simple à résoudre, avec un principe relativement intuitif. La rangée équatoriale impose la connaissance d'un algorithme dédié. La rangée supérieure est de loin la plus exigeante car sa résolution comporte plusieurs phases successives nécessitant plusieurs algorithmes supplémentaires.

Choix de la première couleur

Si rien n'est imposé pour choisir la couleur de la face inférieure du cube (la première à être résolue), j'ai pris l'habitude de choisir le **blanc**, que je considère comme la plus facile à repérer sur un cube mélangé. Libre à vous de faire un autre choix mais il faudra dans ce cas adapter la totalité des explications données dans ce guide.

Choisir le blanc impose en pratique d'orienter initialement le 3x3 avec le **centre blanc vers le bas** (l'orientation du cube autour de l'axe vertical n'ayant pas d'importance en début de résolution). Respectant le thème standard des couleurs, le centre supérieur est logiquement de couleur jaune. Pour conserver ses repères sur le cube et prendre une bonne habitude, cette disposition **restera la même tout au long de la résolution**.

Résolution de la rangée inférieure

Principe général

La rangée inférieure du 3x3 est constituée de 4 coins, de 4 arêtes et d'un centre fixe blanc.

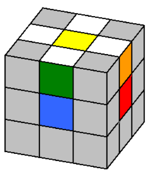


fig. 3.5
croix blanche sur face supérieure

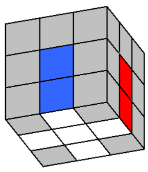


fig. 3.6
croix blanche sur face inférieure

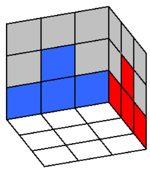


fig. 3.7
croix blanche complétée

Dans un premier temps, on forme une croix blanche autour du centre supérieur jaune, en disposant autour de lui les facettes blanches de 4 arêtes (*fig. 3.5*).

Ensuite, on « retourne » les 4 branches de la croix sur la face inférieure du cube, autour du centre blanc. Au cours de cette phase, on établit une correspondance de couleur entre chaque branche de la croix et le centre de la face latérale correspondante du cube (*fig. 3.6*).

Enfin, on complète cette croix inférieure blanche par 4 coins comportant une facette blanche pour terminer la résolution de la rangée inférieure du cube (*fig. 3.7*).

(1/3) Construction de la croix

Pour construire une croix blanche sur la face inférieure, on réunit d'abord ses 4 branches blanches sur la face supérieure, autour du centre jaune. Pour cela, on doit d'abord repérer sur le cube les **arêtes comportant une facette blanche**. Leur mise en place dans la rangée supérieure dépend de leur emplacement initial. 3 cas sont possibles :

1er cas : facette blanche de l'arête dans la rangée équatoriale

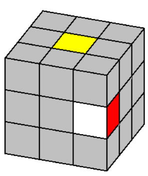


fig. 3.8
facette blanche dans la rangée équatoriale

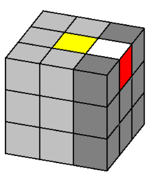


fig. 3.9
facette blanche remontée sur la face supérieure

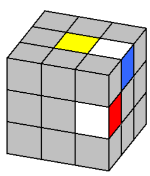


fig. 3.10
emplacement déjà pris sur la face supérieure

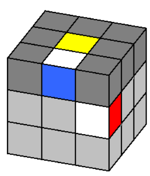


fig. 3.11
emplacement libéré sur la face supérieure

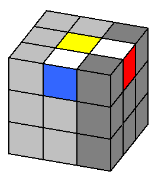


fig. 3.12
facette blanche remontée sur la face supérieure

Orienter le cube de manière à ce que la facette blanche de l'arête soit visible sur la face avant (*fig. 3.8*). Ensuite, selon que la facette blanche se trouve du côté gauche ou (comme ici) du côté droit, « remonter » la rangée correspondante (gauche ou droite) pour que la facette blanche se retrouve sur la face supérieure, contre le centre jaune (*fig. 3.9*).

Si l'emplacement d'arrivée est déjà occupé par une autre facette blanche (*fig. 3.10*), réorienter la rangée supérieure pour libérer la place (*fig. 3.11*) puis remonter la nouvelle arête à facette blanche sur la face supérieure (*fig. 3.12*).

2ème cas : facette blanche de l'arête au sommet ou au bas d'une face latérale

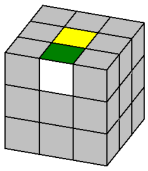


fig. 3.13
facette blanche au sommet / au bas de la face avant

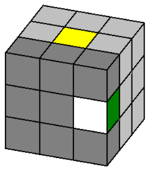


fig. 3.14
facette blanche déplacée dans la rangée équatoriale

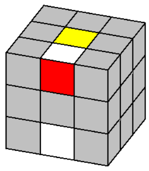


fig. 3.15
rangée avant bloquée par facette blanche sur face supérieure

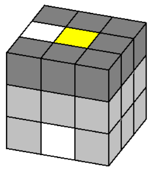


fig. 3.16
rangée avant libérée par rotation de la rangée supérieure

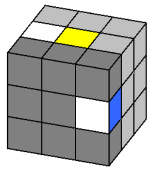


fig. 3.17
facette blanche déplacée dans la rangée équatoriale

Orienter le cube de manière à ce que la facette blanche de l'arête se retrouve sur la face avant (*fig. 3.13*). Tourner ensuite la face avant pour ramener la facette blanche dans la rangée équatoriale, du côté gauche ou droit (*fig. 3.14*). **On est ramené au 1er cas.**

Si une facette blanche est déjà en place dans la partie avant de la face supérieure (*fig. 3.15*), réorienter la rangée supérieure pour libérer la place (*fig. 3.16*) puis tourner la rangée avant pour placer l'autre facette blanche dans la rangée équatoriale (*fig. 3.17*). **On est ramené au 1er cas.**

3ème cas : facette blanche de l'arête sur la face inférieure

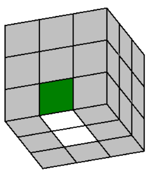


fig. 3.18
facette blanche sur la face inférieure

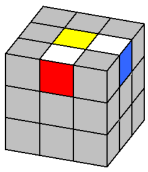


fig. 3.19
facettes blanches présentes sur la face supérieure

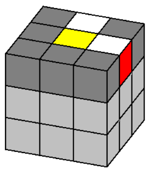


fig. 3.20
rangée avant libérée par rotation de la rangée supérieure

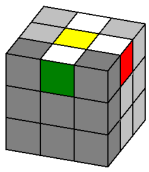


fig. 3.21
facette blanche remontée sur la face supérieure

Orienter le cube de manière à ce que la facette blanche de l'arête inférieure se trouve dans la rangée avant (*fig. 3.18*). Sur la face supérieure, vérifier si une facette blanche occupe la rangée avant. Si c'est le cas (*fig. 3.19*), réorienter la rangée supérieure pour mettre à l'abri la ou les facette(s) blanche(s) déjà en place (*fig. 3.20*).

Enfin, tourner la rangée avant d'un demi-tour pour amener la nouvelle facette blanche sur la face supérieure (*fig. 3.21*).

(2/3) Retournement de la croix

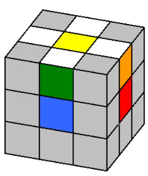


fig. 3.22
croix blanche sur la face supérieure

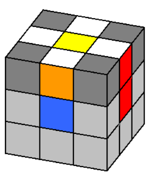


fig. 3.23
correspondance de couleur entre une branche de la croix et un centre

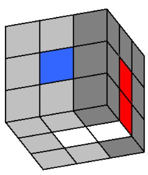


fig. 3.24
retournement de la rangée latérale contenant les 2 pièces

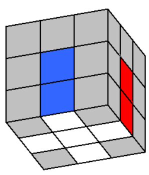


fig. 3.25
croix inférieure résolue

Une fois les 4 branches de la croix blanche réunies autour du centre supérieur jaune (*fig. 3.22*), s'intéresser à la 2ème couleur de chaque arête supérieure pour établir une correspondance avec celle d'un centre d'une face latérale du cube en réorientant la rangée supérieure (*fig. 3.23*). Une fois cette correspondance établie (ici pour le rouge), tourner de 180° la rangée verticale contenant les 2 pièces (ici la droite) pour amener la facette blanche sur la face inférieure (*fig. 3.24*).

Répéter ensuite ces opérations pour les 3 autres branches de la croix. Finalement, on obtient une croix blanche inférieure dont chacune des branches est en correspondance de couleur avec un centre d'une face latérale (*fig. 3.25*).

(3/3) Insertion des coins inférieurs

Pour compléter la croix inférieure blanche et terminer la résolution de la rangée inférieure, on vient insérer un par un 4 coins inférieurs avec une facette blanche orientée vers le bas. On recherche en priorité ces coins dans la rangée supérieure et 2 cas sont possibles selon l'orientation de la facette blanche de ces coins.

1er cas : coin à facette blanche dans la rangée supérieure avec facette blanche orientée vers le haut

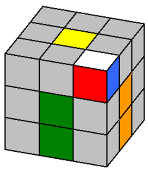


fig. 3.26
coin à facette blanche dans la rangée supérieure

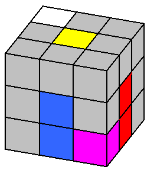


fig. 3.27
emplacement final du coin à facette blanche

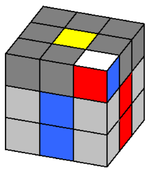


fig. 3.28
déplacement du coin à facette blanche à la verticale de son emplacement final

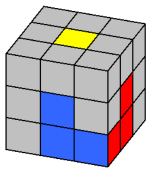
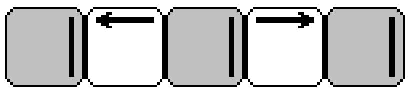


fig. 3.29
nouveau coin inférieur en place

Une fois le coin à facette blanche repéré (*fig. 3.26*), s'intéresser à ses 2 autres couleurs (ici, le rouge et le bleu) puis repérer l'emplacement final du coin dans la rangée inférieure en fonction de ces 2 couleurs et orienter le cube pour que cet emplacement occupe la position **avant droite** (*fig. 3.27*).

Réorienter la rangée supérieure pour amener le coin à facette blanche **à la verticale de son emplacement final** (*fig. 3.28*) puis appliquer l'algorithme suivant pour mettre en place le coin dans la rangée inférieure (*fig. 3.29*):



R2 U R2 U' R2
algorithme de L'ASCENSEUR

N.B. : l'algorithme de l'ascenseur est utilisé pour insérer un coin supérieur d'un cube standard dans sa rangée inférieure. Il doit son nom à l'apparent mouvement vertical du coin choisi. En pratique, les coins avant-droits supérieur et inférieur permutent, le coin choisi se retourne une fois « descendu » (sa facette supérieure devient sa facette inférieure) et les couleurs de ses facettes latérales se retrouvent inversées. Aucune autre pièce de la rangée inférieure n'est déplacée ou réorientée dans l'opération, ce qui permet de compléter facilement cette rangée. En revanche, l'agencement des 2 rangées supérieures est modifié.

2ème cas : coin à facette blanche dans la rangée supérieure avec facette blanche non orientée vers le haut

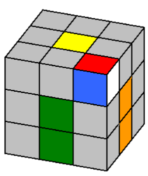


fig. 3.30
coin à facette blanche dans la rangée supérieure

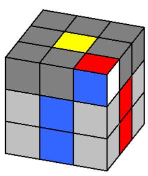


fig. 3.31
correspondance de couleurs avec le centre d'une face latérale

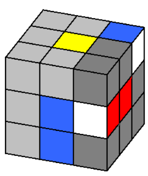


fig. 3.32
déplacement du coin à facette blanche à l'arrière de la face supérieure

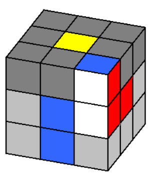


fig. 3.33
facette blanche ramenée sur la face avant

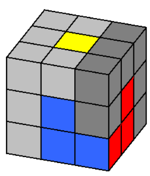


fig. 3.34
coin inférieur en place

Repérer sur le coin à facette blanche la couleur de l'autre facette non dirigée vers le haut (ici, le bleu) (*fig. 3.30*) puis tourner la rangée supérieure pour mettre cette facette en correspondance de couleur avec le centre d'une face latérale du cube (ici, le centre bleu) et orienter le cube pour que cette face devienne la nouvelle face avant (*fig. 3.31*).

Selon le côté où se trouve le coin à facette blanche par rapport au centre avant (à gauche ou à droite), monter la rangée correspondante (ici, la droite) pour déplacer le coin à l'arrière de la rangée supérieure (*fig. 3.32*). Ramener ensuite la facette blanche du coin sur la face avant en tournant la rangée supérieure (*fig. 3.33*) puis amener le coin à facette blanche dans la rangée inférieure en redescendant la rangée gauche ou droite (ici, la droite) dans laquelle il se trouve (*fig. 3.34*). On parle dans ce cas de technique **d'insertion simple d'un coin** inférieur (du côté gauche ou droit).

3ème cas : tous les coins à facette blanche dans la rangée inférieure mais un ou plusieurs coins mal placé(s) et/ou mal orienté(s)

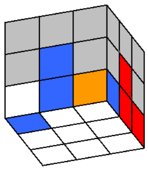


fig. 3.35
coins mal placés dans la rangée inférieure

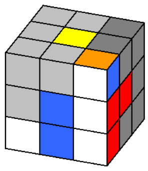


fig. 3.36
coin avant-droit remonté dans la rangée supérieure

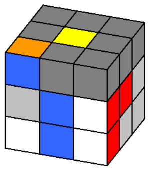


fig. 3.37
coin avant-droit isolé dans la rangée supérieure

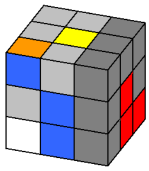


fig. 3.38
rétablissement de l'orientation de la rangée droite

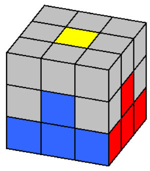


fig. 3.39
rangée inférieure résolue

Dans cet exemple (*fig. 3.35*), la face inférieure contient 2 coins mal placés aux positions avant gauche et avant droite, celui de droite ayant une orientation correcte (facette blanche vers le bas) et celui de gauche une orientation incorrecte. On peut aussi se trouver dans la situation où un coin est bien placé mais mal orienté.

Quel que soit le cas considéré, orienter le cube pour avoir le coin inférieur à corriger en position avant-droite (*fig. 3.8*). Monter la rangée droite pour remonter le coin à corriger dans la rangée supérieure (*fig. 3.36*). Tourner ensuite la rangée supérieure vers la gauche pour mettre le coin à facette blanche à l'abri sur la gauche (*fig. 3.37*) puis redescendre la rangée droite pour ramener les autres facettes blanches sur la face inférieure du cube (*fig. 3.38*).

Avec un coin à facette blanche isolé dans la rangée supérieure, **on est ramené à l'un des 2 premiers cas**. Répéter les opérations précédentes si un autre coin doit être corrigé (ici, le coin inférieur avant gauche). Une fois tous les coins inférieurs correctement placés et orientés, la rangée inférieure du cube est résolue (*fig. 3.39*).

Résolution de la rangée équatoriale

Principe général

La rangée équatoriale du 3x3 est constituée de 4 centres et 4 arêtes. Les centres du cube étant fixes et déjà en correspondance de couleur avec les pièces de la rangée inférieure résolue, il suffit donc de **placer les 4 arêtes équatoriales** pour résoudre la rangée équatoriale du cube.

La couleur jaune étant celle de la face supérieure du cube une fois résolu, les 4 arêtes comportant une facette jaune occuperont la rangée supérieure en fin de résolution. Toute arête non encore en place et ne comportant pas de facette jaune est donc une arête équatoriale à mettre en place.

Chacune des 4 arêtes équatoriales est mise en place séparément à l'aide d'un algorithme existant en 2 variantes (gauche ou droite), selon le côté où l'arête doit être insérée dans la rangée équatoriale.

Mise en place d'une arête équatoriale

1er cas : arête sans facette jaune dans la rangée supérieure

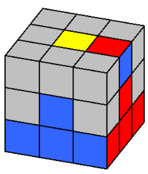


fig. 3.40
repérage d'une arête dans la rangée supérieure

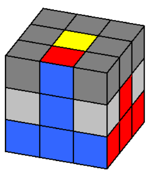
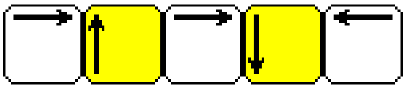


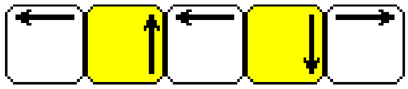
fig. 3.41
préparation de l'insertion d'une arête équatoriale

Repérer dans la rangée supérieure une arête ne comportant pas de facette jaune (*fig. 3.40*) puis orienter la rangée supérieure pour placer cette arête en correspondance de couleur avec un centre d'une face latérale du cube (ici, le bleu) (*fig. 3.41*). Orienter le cube pour que ce centre occupe la face avant.

Ensuite, s'intéresser à la couleur de la facette supérieure de cette arête (ici, le rouge) puis chercher la position du centre de même couleur sur le cube (gauche ou droite, ici à droite) pour utiliser l'une des 2 variantes de l'algorithme suivant :



U' L' U' L U
ALGORITHME DU PECHEUR
(variante GAUCHE)



U R U R' U'
ALGORITHME DU PECHEUR
(variante DROITE)

N.B. : l'algorithme du pêcheur est utilisé pour insérer une arête supérieure d'un cube standard dans sa rangée équatoriale. J'utilise l'image d'un pêcheur et d'un poisson pour illustrer ses rotations. La rangée supérieure symbolise le pêcheur et la rangée gauche ou droite (selon le côté où l'arête doit être insérée) le poisson. Le pêcheur, lassé de ne pas avoir de prises, s'éloigne de sa canne à pêche une première fois (la rangée supérieure est tournée à l'opposé de la direction du poisson). Le poisson en profite pour remonter à la surface et attraper le ver du pêcheur (la rangée gauche ou droite est montée). Sans se méfier, le pêcheur s'éloigne à nouveau (la rangée supérieure est à nouveau tournée à l'opposé de la direction du poisson) puis le poisson attrape le ver et replonge vers les profondeurs (la rangée gauche ou droite est redescendue). Alerté, le pêcheur revient en courant vers sa canne à pêche (la rangée supérieure est cette fois tournée en direction du poisson).

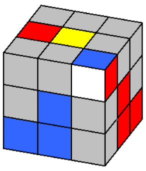


fig. 3.42
coin à facette blanche délogé dans la rangée supérieure

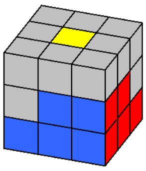


fig. 3.43
coin à facette blanche remis en place avec arête équatoriale insérée au-dessus

Une fois l'algorithme terminé, un coin à facette blanche se retrouve délogé dans la rangée supérieure (*fig. 3.42*). Le remettre à sa place dans la rangée inférieure (voir **insertion d'un coin inférieur** dans la **résolution de la rangée inférieure**). Au cours de l'opération, le coin isolé se retrouve accolé à l'arête équatoriale à insérer et les 2 pièces rejoignent ensemble leur emplacement final (*fig. 3.43*).

Répéter les opérations précédentes avec toutes les arêtes supérieures ne comportant pas de facette jaune.

2ème cas : aucune arête sans facette jaune dans la rangée supérieure

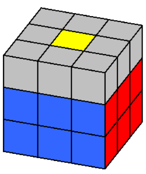


fig. 3.44
rangée équatoriale résolue

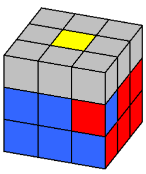


fig. 3.45
arête mal orientée dans la rangée équatoriale

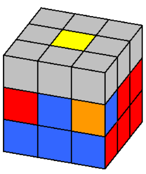


fig. 3.46
arêtes permutées dans la rangée équatoriale

Dans cette situation, toutes les arêtes ne comportant pas de facette jaune se trouvent déjà dans la rangée équatoriale. C'est le moment de vérifier si cette rangée n'est pas déjà résolue (*fig. 3.44*).

Si ce n'est pas le cas, certaines arêtes équatoriales sont mal orientées (*fig. 3.45*) et/ou permutées entre elles (*fig. 3.46*). On doit alors remonter une arête équatoriale à corriger dans la rangée supérieure pour l'amener ensuite à son emplacement final avec la bonne orientation. Pour cela, il suffit de remplacer cette arête équatoriale incorrecte par une arête supérieure quelconque (comportant une facette jaune) à l'aide de l' **algorithme du PECHEUR** vu précédemment. Une fois l'arête équatoriale renvoyée de nouveau dans la rangée supérieure, **on est ramené au 1er cas**.

Résolution de la rangée supérieure

Principe général

Les 2 rangées inférieures du cube étant maintenant résolues, les permutations et réorientations à prévoir doivent se limiter aux seules pièces de la rangée supérieure. La résolution de cette rangée (la plus exigeante du cube) peut être décomposée en 4 étapes :

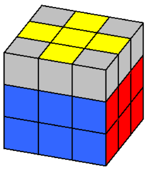


fig. 3.47
croix supérieure jaune résolue

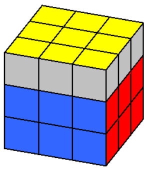


fig. 3.48
face supérieure résolue

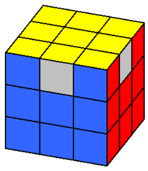


fig. 3.49
coins supérieurs résolus

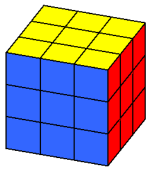


fig. 3.50
arêtes supérieures résolues

- la construction d'une **croix supérieure jaune** (*fig. 3.47*)
- la résolution de la **face supérieure** (*fig. 3.48*)
- la résolution des **coins supérieurs** (*fig. 3.49*)
- la résolution des **arêtes supérieures** (*fig. 3.50*)

(1/4) Construction de la croix supérieure

Construire une croix supérieure jaune sur le cube revient à **réorienter ses 4 arêtes supérieures** pour que leurs facettes jaunes soient visibles sur la face supérieure. Lorsque cette croix est complète, elle comporte donc 4 « branches » autour du centre supérieur du cube.

Dans le cas du 3x3, cette croix supérieure ne peut comporter qu'un **nombre pair de branches** (0, 2 ou 4) lorsque les rangées inférieure et équatoriale du cubes sont résolues. L'obtention de la croix complète nécessite un nouvel algorithme dédié en respectant au préalable une certaine orientation de la rangée supérieure, selon le nombre de branches visibles de la croix :

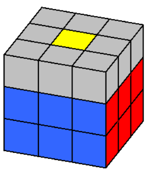


fig. 3.51
croix supérieure sans branches (centre seul)

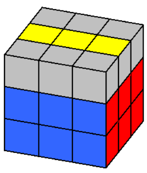


fig. 3.52
croix supérieure à 2 branches alignées

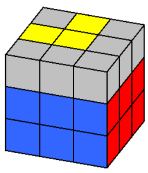


fig. 3.53
croix supérieure à 2 branches en L

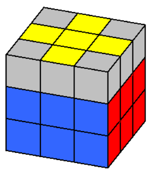
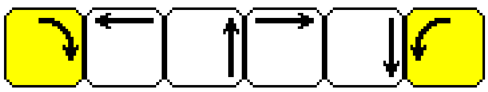


fig. 3.54
croix supérieure résolue

- si la croix n'a **aucune branche** visible (*fig. 3.51*), l'orientation initiale de la rangée supérieure est sans importance
- si la croix comporte **2 branches alignées** (*fig. 3.52*), orienter la rangée supérieure pour disposer ces branches vers **la gauche** et **la droite**
- si la croix comporte **2 branches à 90°** (*fig. 3.53*), orienter la rangée supérieure pour disposer ces branches vers **la gauche** et **l'arrière**
- si la croix est **complète** (*fig. 3.54*), passer directement à la **résolution de la face supérieure**

Si la croix est incomplète, appliquer (une ou plusieurs fois) l'algorithme suivant après avoir vérifié chaque fois l'orientation de la rangée supérieure :



F U R U' R' F'
algorithme du COFFRE

N.B. : l'algorithme du coffre est utilisé pour modifier l'orientation des arêtes supérieures du cube (certaines sont également permutées) et obtenir ainsi une croix partageant sa couleur avec le centre supérieur. L'orientation de ces arêtes est ensuite conservée jusqu'à la fin de la résolution. Pour cet algorithme, j'ai imaginé une porte de coffre équipée d'un volant d'ouverture et verrouillée par une combinaison. La rangée avant symbolise le volant d'ouverture et la combinaison fait intervenir le coin supérieur avant-droit du cube. Le coffre est d'abord fermé (la rangée avant est tournée dans le sens horaire) et la combinaison correspond à la succession des directions gauche, haut, droite puis bas (premier mouvement vers la gauche et les 3 suivants suivant le sens horaire) appliquées au coin supérieur avant-droit et ses 3 remplaçants successifs. Une fois cette combinaison appliquée, on tente d'ouvrir à nouveau le coffre (la rangée avant est tournée dans le sens anti-horaire).

(2/4) Résolution de la face supérieure

Une fois les 4 arêtes supérieures correctement orientées, on doit faire de même avec **les 4 coins supérieurs** pour obtenir une face supérieure uniformément jaune.

La croix supérieure jaune est initialement complétée par un certain nombre de facettes de même couleur portées par des coins supérieurs (0, 1, 2 ou 4). L'obtention de la face complète nécessite un nouvel algorithme dédié en respectant au préalable une certaine orientation de la rangée supérieure, selon le nombre de coins correctement orientés :

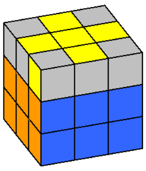


fig. 3.55
croix supérieure et aucun coin bien orienté

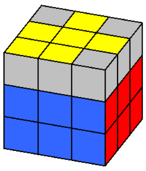


fig. 3.56
croix supérieure et 1 coin bien orienté

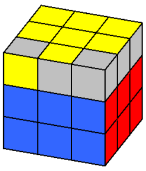


fig. 3.57
croix supérieure et 2 coins bien orientés

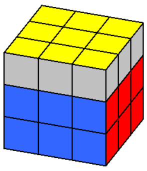
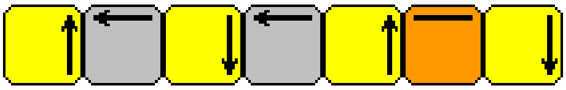


fig. 3.58
croix supérieure et 4 coins bien orientés

- si **aucun coin** n'est correctement orienté (*fig. 3.55*), orienter la rangée supérieure pour que le **coin avant-gauche** ait sa facette jaune à **gauche**
- si **un seul coin** est correctement orienté (*fig. 3.56*), orienter la rangée supérieure pour disposer ce coin en position **avant-gauche**
- si **2 coins** sont correctement orientés (*fig. 3.57*), orienter la rangée supérieure pour que le coin **avant-gauche** ait sa facette jaune vers **l'avant**
- si **les 4 coins** sont correctement orientés (*fig. 3.58*), passer directement à la **résolution des coins supérieurs**

Pour réorienter des coins, appliquer (une ou plusieurs fois) l'algorithme suivant après avoir vérifié chaque fois l'orientation de la rangée supérieure :



R U R' U R U2 R'
algorithme de la MACHINE A COUDRE

N.B. : l'algorithme de la machine à coudre est utilisé pour modifier l'orientation des coins supérieurs du cube (certains sont également permutés) et ainsi obtenir une face supérieure uniformément jaune. L'orientation de ces coins est ensuite conservée jusqu'à la fin de la résolution. Pour cet algorithme, j'ai fait le rapprochement avec une machine à coudre. La rangée droite reprend les mouvements verticaux alternatifs de l'aiguille (avec un premier mouvement vers le haut) et la rangée supérieure symbolise la bobine de fil se déroulant toujours dans le même sens (vers la gauche). Les mouvements de l'aiguille et de la bobine sont intercalés et le premier mouvement est celui de l'aiguille. la seule exception à cette trame est le demi-tour correspondant au 3ème mouvement de la rangée supérieure, toutes les autres rotations étant des quarts de tour.

(3/4) Résolution des coins supérieurs

Malgré sa face supérieure résolue, le cube n'est pas encore entièrement résolu car les pièces de sa rangée supérieure doivent encore être permutées entre elles. Chronologiquement, on commence par permuter les coins supérieurs. Si 2 coins consécutifs ont des facettes en correspondance de couleur sur une face latérale du cube, leurs positions relatives sont correctes.

A ce stade de la résolution, le cube peut comporter 4 coins supérieurs correctement disposés (dans ce cas, on passe directement à l'étape suivante), 2 coins consécutifs bien disposés ou 4 coins sans aucune correspondance de couleur. Pour obtenir une configuration correcte des 4 coins, on utilise un nouvel algorithme dédié qui permet la permutation des 2 coins supérieurs droits du cube.

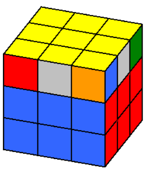


fig. 3.59
4 coins sans correspondance de couleur

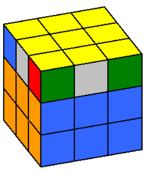


fig. 3.60
2 coins consécutifs en correspondance de couleur

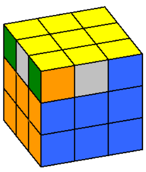


fig. 3.61
2 coins consécutifs en correspondance de couleur (à gauche)

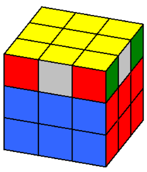


fig. 3.62
4 coins consécutifs en correspondance de couleur

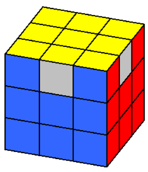
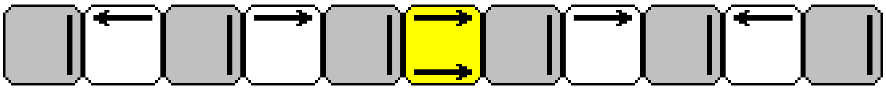


fig. 3.63
4 coins consécutifs en correspondance de couleur (résolus)

- si les 4 coins n'ont **aucune correspondance de couleur** (*fig. 3.59*), l'orientation initiale de la rangée supérieure est sans importance
- si **2 coins consécutifs** ont une correspondance de couleur (*fig. 3.60*), orienter la rangée supérieure pour les disposer **du côté gauche** (*fig. 3.61*)
- si les **4 coins** sont en correspondance de couleur (*fig. 3.62*), orienter la rangée supérieure pour faire correspondre les couleurs latérales des coins avec celles des pièces inférieures du cube (chaque coin se retrouve ainsi à son emplacement final) (*fig. 3.63*)

Pour permuter les 2 coins supérieurs droits du cube, appliquer l'algorithme suivant :



(R2 U R2 U' R2) U' D (R2 U' R2 U R2) D'
algorithme du DOUBLE ASCENSEUR

N.B. : J'ai opté pour l'appellation « double ascenseur » en raison de la structure de cet algorithme. Les 5 premières rotations correspondent en effet à l'algorithme de l'ascenseur vu précédemment et une séquence similaire se retrouve plus loin, avec des directions gauche et droite inversées pour la rangée supérieure. Entre ces 2 blocs de rotations, les rangées supérieures et inférieures sont tournées ensemble vers la droite. En fin d'algorithme, la rangée inférieure est tournée vers la gauche pour retrouver son orientation initiale.

(4/4) Résolution des arêtes supérieures

Une fois les coins supérieurs en place, il ne reste plus qu'à permuter les arêtes supérieures entre elles pour terminer la résolution du cube. Le principe de base est d'effectuer des **successions de permutations de 2 arêtes**. Pour déterminer lesquelles sont à permuter (typiquement, 3 ou 4 sur un cube 3x3), on s'intéresse à la couleur de leurs facettes latérales. Une arête supérieure est en place lorsqu'elle est en correspondance de couleur avec les 2 coins qui l'encadrent.

A l'aide de 2 nouveaux algorithmes dédiés, on peut permuter 2 arêtes supérieures disposées à 90 ou 180° l'une de l'autre. Dans les 2 cas, on provoque aussi une permutation parallèle des **2 arêtes équatoriales droites** du cube, mais **le nombre de permutations d'arêtes supérieures étant toujours pair sur un 3x3**, ces arêtes équatoriales retrouvent toujours leur emplacement correct en fin de résolution.

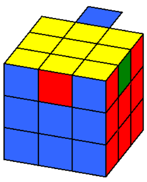


fig. 3.64
3 arêtes supérieures à permuter

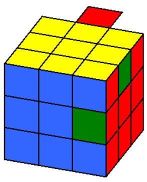
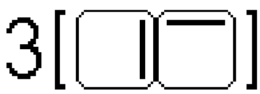


fig. 3.65
arêtes supérieures avant et arrière permutées

Dans l'exemple ci-dessus (*fig. 3.64*), les arêtes supérieures avant, droite et arrière sont à permuter. On remarque que l'arête arrière porte une facette bleue (« déroulée » sur ce schéma car initialement cachée sur la face arrière du cube). Dans un premier temps, on peut choisir de la permuter avec l'arête avant pour lui faire rejoindre la face bleue du cube.

Les 2 arêtes à permuter étant à 180° l'un de l'autre, on oriente d'abord la rangée supérieure du cube de manière à disposer les 2 arêtes vers **l'avant et l'arrière** de la rangée (c'est déjà le cas ici) puis on applique l'algorithme suivant :



(R2 U2)3
algorithme de permutation de 2 arêtes supérieures à 180°

N.B. : Cet algorithme est sans doute le plus simple à retenir parmi ceux dédiés à la résolution des cubes standards et, pour cette raison, je ne lui ai pas donné de nom particulier. Il consiste en la répétition (3 fois) d'un demi-tour de la rangée droite suivi d'un demi-tour de la rangée supérieure et permet de permuter les arêtes avant et arrière de la rangée supérieure. Compte tenu du nombre impair de demi-tours appliqués à la rangée droite, les arêtes équatoriales droites du cube se retrouvent également permutées au terme de l'algorithme. Mais le nombre de permutations d'arêtes supérieures étant toujours pair sur un cube 3x3, on rétablit leur position à la permutation suivante.

Au terme de cet algorithme, l'arête supérieure à facette bleue a rejoint l'emplacement avant (*fig. 3.65*) et il ne reste plus que 2 arêtes supérieures à permuter (l'arête droite et l'arête arrière), soit une dernière permutation pour terminer la résolution du cube.

On remarque que les 2 arêtes équatoriales droites ont également permuté dans l'opération. Quel que soit le type de permutation (à 90° ou 180°) à prévoir pour les 2 dernières arêtes supérieures, on doit veiller à bien conserver ces arêtes équatoriales permutées du **côté droit** du cube pour éviter de compliquer inutilement la fin de la résolution.

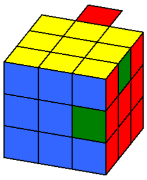


fig. 3.66
2 dernières arêtes supérieures à permuter

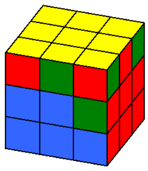


fig. 3.67
réorientation de la rangée supérieure

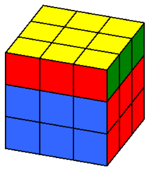


fig. 3.68
arêtes supérieures avant et droite permutées

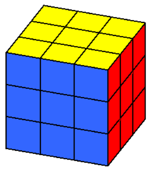
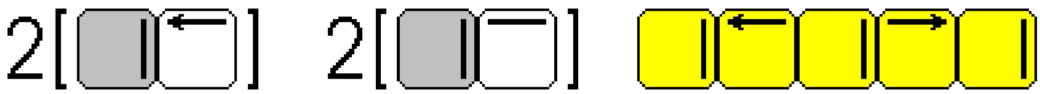


fig. 3.69
cube résolu

Les 2 dernières arêtes supérieures à permuter occupent les positions droite et arrière du cube (*fig. 3.66*) et sont donc disposées à 90° l'une de l'autre.

Dans ce cas, on réoriente la rangée supérieure du cube pour que les arêtes supérieures à permuter occupent les positions **avant** et **droite** (*fig. 3.67*), puis on applique un nouvel algorithme dédié pour échanger leurs positions :



(R2 U)2 (R2 U2)2 (R2 U R2 U' R2)
algorithme de permutation de 2 arêtes supérieures à 90°

N.B. : Ce dernier algorithme nécessaire à la résolution du cube 3x3 permet de permuter les arêtes avant et droite de la rangée supérieure. Comme le précédent, sa structure est simple et ne nécessite pas d'image ou analogie particulière pour le mémoriser. Il consiste en la répétition de 2 séquences simples (2 fois chacune) faisant à chaque fois intervenir un demi-tour de la rangée droite, suivie de 5 rotations correspondant à l'algorithme de l'ascenseur déjà décrit plus tôt dans la résolution du 3x3. Comptant comme le précédent un nombre total impair de demi-tours appliqués à la rangée droite, il permet de rétablir les positions des 2 arêtes équatoriales droites, échangées après la permutation des 2 premières arêtes supérieures.

Au terme de ce dernier algorithme, les 2 dernières arêtes supérieures ont permuté et la rangée supérieure du cube est donc résolue (*fig. 3.68*). Parallèlement, les 2 arêtes équatoriales droites ont retrouvé leur emplacement correct.

Pour terminer la résolution du cube, il suffit de réorienter la rangée supérieure de manière à faire correspondre ses couleurs latérales avec celles des pièces inférieures du cube (*fig. 3.69*).

Bravo ! Vous avez terminé la résolution de votre 3x3 !

4. RESOLUTION DU CUBE STANDARD 2X2

Introduction

Pourquoi ne pas avoir pas abordé le cas du **cube 2x2** avant de détailler la résolution du 3x3 ? D'abord en raison de sa plus grande rareté qui n'en ferait pas une base de compréhension idéale pour le plus grand nombre et parce qu'il est une version simplifiée du 3x3 dont tous les principes de résolution sont maintenant connus et dont seulement quelques-uns lui seront appliqués. Pour cette raison, sa résolution comportera de nombreux renvois à celle du 3x3.

Un 2x2 contient logiquement un plus petit nombre de pièces qu'un 3x3 (8 seulement au total) mais sa principale particularité est de n'être constitué que de coins, ce qui a plusieurs conséquences pratiques.

Coins, couleurs et rangées

En l'absence de centres fixes sur le cube, on peut d'abord se demander comment définir la couleur d'une face sur un 2x2. En pratique, c'est à l'utilisateur du cube de décider quelle sera la première face qui servira de référence et de lui attribuer une couleur (comme pour le 3x3, je pars du principe que cette couleur est le **blanc**).

A partir de ce choix initial, la seule règle à retenir est que 2 coins mitoyens occupent des positions relatives correctes s'ils possèdent **2 couleurs en commun** (*fig. 4.1*). Toute la résolution du 2x2 dépend donc du premier coin choisi sur le cube.

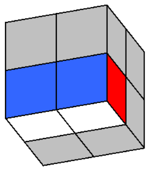


fig. 4.1
coins mitoyens en correspondance de couleur

Le principe de résolution étagée reste le même que sur un 3x3, le 2x2 étant toutefois limité à 2 rangées. On résout donc en premier la rangée inférieure du cube puis on passe à sa rangée supérieure.

Résolution de la rangée inférieure

Principe général

Si la rangée inférieure d'un 2x2 peut être résolue de manière intuitive, je vous propose de nous appuyer sur notre expérience du 3x3 pour définir une méthode systématique simple.

Elle consiste en une insertion individuelle de 3 coins inférieurs pour compléter le premier coin choisi sur le cube. Le procédé d'insertion est identique à celui décrit pour le 3x3.

Choix et orientation du coin de référence

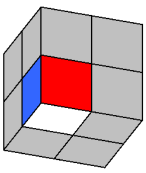


fig. 4.2
1er coin inférieur à facette blanche

Pour commencer la résolution du 2x2, on choisit un coin comportant une facette blanche, puis on oriente le cube pour disposer ce coin dans sa rangée inférieure, facette blanche tournée vers le bas, en position avant-gauche (*fig. 4.2*). Par la suite, on va compléter la rangée inférieure par d'autres coins insérés à droite du ou des précédents.

Insertion du 2ème coin inférieur

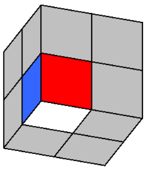


fig. 4.3
1er coin inférieur à facette blanche

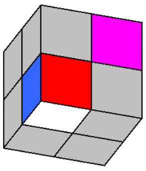


fig. 4.4
emplacement du 2ème coin à insérer

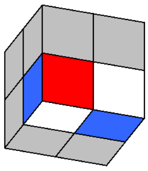


fig. 4.5
2ème coin inférieur mal orienté

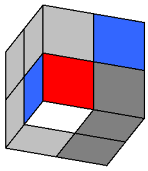


fig. 4.6
2ème coin inférieur mal orienté

Considérer la couleur de la facette avant du premier coin choisi (ici, le rouge) (*fig. 4.3*) et chercher sur le 2x2 un autre coin à facette blanche partageant cette 2ème couleur. En manipulant intuitivement les rangées droite, supérieure et arrière du cube, déplacer ce 2ème coin à facette blanche à droite du premier, dans la rangée supérieure (emplacement magenta) (*fig. 4.4*). Selon son orientation, 3 situations sont possibles pour sa mise en place dans la rangée inférieure (voir plus loin).

Si le 2ème coin inférieur est déjà en place mais mal orienté (*fig. 4.5*), le remonter dans la rangée supérieure en montant la rangée droite (*fig. 4.6*) puis considérer les 3 situations possibles suivantes.

1er cas : facette blanche du 2ème coin vers l'avant

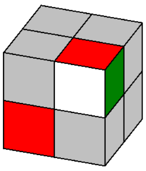


fig. 4.7
2ème coin à insérer avec facette blanche vers l'avant

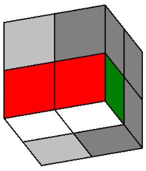


fig. 4.8
2ème coin inséré dans la rangée inférieure

C'est de loin le cas le plus simple (*fig. 4.7*) : descendre simplement la rangée droite pour insérer le 2ème coin à facette blanche à côté du premier dans la rangée inférieure du cube (*fig. 4.8*).

2ème cas : facette blanche du 2ème coin vers la droite

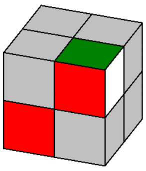


fig. 4.9
2ème coin à insérer avec facette blanche vers la droite

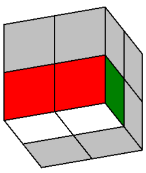
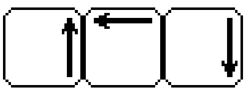


fig. 4.10
2ème coin inséré dans la rangée inférieure

Cette situation correspond au cas d'une **insertion simple par la droite**, déjà vue pour le 3x3.

On peut la résumer par les 3 rotations suivantes :



R U R'
INSERTION SIMPLE D'UN COIN INFERIEUR
(variante DROITE)

3ème cas : facette blanche du 2ème coin vers le haut

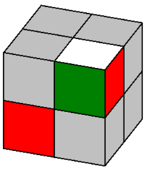


fig. 4.11
2ème coin à insérer avec facette blanche vers le haut

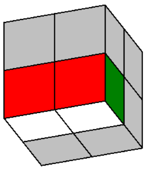
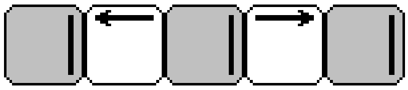


fig. 4.12
2ème coin inséré dans la rangée inférieure

Dans ce cas (*fig. 4.11*), appliquer directement l'**algorithme de l'ascenseur** déjà vu sur le 3x3 pour insérer le 2ème coin à facette blanche à côté du premier dans la rangée inférieure du cube (*fig. 4.12*) :



R2 U R2 U' R2
algorithme de L'ASCENSEUR

Insertion du 3ème coin inférieur

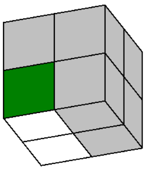


fig. 4.13
2 premiers coins inférieurs en place

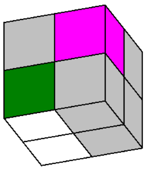


fig. 4.14
emplacement du 3ème coin à insérer

Une fois les 2 premiers coins inférieurs assemblés, pivoter le cube vers la gauche (*fig. 4.13*). En tournant intuitivement les rangées droite et supérieures, amener un 3ème coin à facette blanche partageant une autre couleur avec le 2ème coin inférieur (ici, le vert) en position avant-droite dans la rangée supérieure du cube (*fig. 4.14*).

Mettre en place ce 3ème coin à facette blanche dans la rangée inférieure en reprenant les mêmes principes que pour le 2ème.

Insertion du dernier coin inférieur

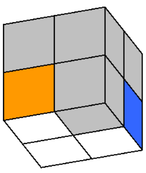


fig. 4.15
3 premiers coins inférieurs en place

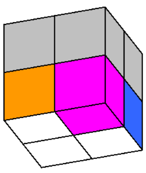


fig. 4.16
dernier coin inférieur à vérifier

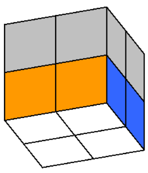


fig. 4.17
dernier coin inférieur en place

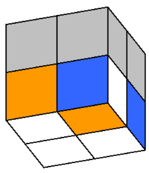


fig. 4.18
dernier coin inférieur mal orienté

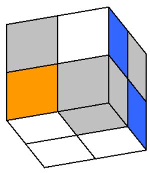


fig. 4.19
dernier coin inférieur mal orienté remonté dans la rangée supérieure

Pivoter de nouveau le cube vers la gauche (*fig. 4.15*).

Si le dernier coin à facette blanche se trouve déjà dans la rangée inférieure, vérifier si son orientation est correcte (*fig. 4.16*). Si c'est le cas (*fig. 4.17*), la rangée inférieure du 2x2 est déjà résolue (passer directement à la **résolution de la rangée supérieure**). Sinon (*fig. 4.18*), utiliser l'**algorithme de l'ascenseur** déjà vu sur le 3x3 pour remonter le coin mal orienté dans la rangée supérieure (*fig. 4.19*).

Si le dernier coin à facette blanche se trouve dans la rangée supérieure (qu'il ait ou non été remonté depuis la rangée inférieure pour être réorienté), appliquer les mêmes techniques que sur le 3x3 pour l'insérer dans la rangée inférieure, selon l'orientation de sa facette blanche :

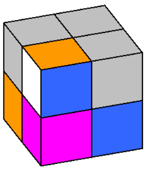


fig. 4.20
facette blanche vers la gauche

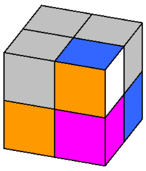


fig. 4.21
facette blanche vers la droite

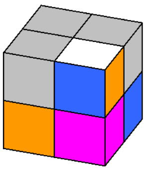


fig. 4.22
facette blanche vers le haut

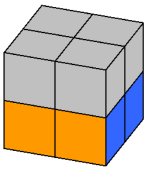


fig. 4.23
dernier coin inférieur en place

- si la facette blanche est orientée vers la gauche (*fig. 4.20*), utiliser la technique de l'**insertion simple d'un coin** dans sa variante **gauche**
- si la facette blanche est orientée vers la droite (*fig. 4.21*), utiliser la technique de l'**insertion simple d'un coin** dans sa variante **droite**
- si la facette blanche est orientée vers le haut (*fig. 4.22*), mettre en place le coin en utilisant l'**algorithme de l'ascenseur**

Une fois le dernier coin en place avec la bonne orientation (*fig. 4.23*), la rangée inférieure du 2x2 est résolue.

Résolution de la rangée supérieure

Principe général

Sur un 3x3, la résolution de la rangée supérieure nécessite 4 étapes. Compte tenu de l'absence d'arêtes et de centres, ce nombre d'étapes est réduit à seulement 2 sur un cube 2x2 :

- la résolution de **la face supérieure** (par réorientation des coins)
- la permutation **des coins supérieurs**

Résolution de la face supérieure

En l'absence de croix supérieure sur le 2x2, on s'intéresse directement au nombre de coins supérieurs dont la facette jaune est orientée vers le haut. De la même manière que sur le 3x3, on oriente ensuite la rangée supérieure selon le nombre de facettes apparentes sur la face supérieure du cube avant d'appliquer l'algorithme dédié :

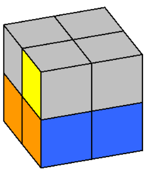


fig. 4.24
aucun coin supérieur bien orienté

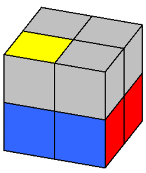


fig. 4.25
1 coin supérieur bien orienté

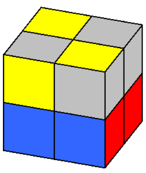


fig. 4.26
2 coins supérieurs bien orientés

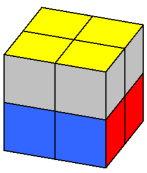


fig. 4.27
4 coins supérieurs bien orientés

- si **aucun coin** n'est correctement orienté (*fig. 4.24*), orienter la rangée supérieure pour que le **coin avant-gauche** ait sa facette jaune à **gauche**
- si **un seul coin** est correctement orienté (*fig. 4.25*), orienter la rangée supérieure pour disposer ce coin en position **avant-gauche**
- si **2 coins** sont correctement orientés (*fig. 4.26*), orienter la rangée supérieure pour que le coin **avant-gauche** ait sa facette jaune vers **l'avant**
- si **les 4 coins** sont correctement orientés (*fig. 4.27*), passer directement à la **permutation des coins supérieurs**

Si la face supérieure est incomplète, appliquer (une ou plusieurs fois) l'**algorithme de la MACHINE A COUDRE** (voir 3x3) après avoir vérifié chaque fois la bonne orientation de la rangée supérieure. Par itérations, on obtient une face supérieure uniformément jaune (*fig. 4.27*).

Permutation des coins supérieurs

En l'absence d'arêtes sur le 2x2, terminer la résolution de la rangée supérieure se limite à obtenir une correspondance de couleurs des facettes latérales de ses 4 coins supérieurs. Comme sur le 3x3, on obtient cette correspondance en permutant (une ou plusieurs fois) les 2 coins supérieurs droits du cube par itérations.

Une fois sa face supérieure résolue, le 2x2 peut présenter 4 coins supérieurs bien disposés (la rangée supérieure est alors résolue), 2 coins supérieurs bien disposés ou 4 coins sans aucune correspondance de couleur.

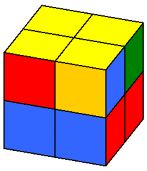


fig. 4.28
coins supérieurs sans correspondance de couleur

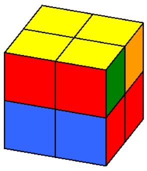


fig. 4.29
2 coins supérieurs en correspondance de couleur (vers l'avant)

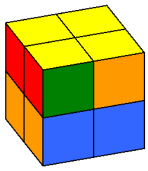


fig. 4.30
2 coins supérieurs en correspondance de couleur (disposés à gauche)

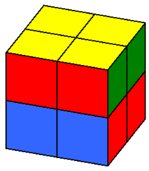


fig. 4.31
4 coins supérieurs en correspondance de couleur

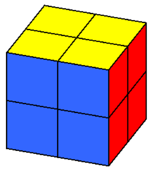


fig. 4.32
cube résolu

- si les 4 coins n'ont **aucune correspondance de couleur** (*fig. 4.28*), l'orientation initiale de la rangée supérieure est sans importance
- si **2 coins consécutifs** ont une correspondance de couleur (*fig. 4.29*), orienter la rangée supérieure pour les disposer **du côté gauche** (*fig. 4.30*)
- si les **4 coins** sont en correspondance de couleur (*fig. 4.31*), orienter la rangée supérieure pour faire correspondre les couleurs latérales des coins avec celles des pièces inférieures du cube (le cube est alors résolu) (*fig. 4.32*)

Pour permuter les 2 coins supérieurs droits du cube, appliquer l'algorithme du **DOUBLE ASCENSEUR** (voir 3x3).

Bravo ! Vous avez terminé la résolution de votre 2x2 !

5. RESOLUTION DU CUBE STANDARD 4X4

Introduction

Après avoir défini plusieurs grands principes de résolution d'un cube standard sur le 3x3 et appliqué une partie de ces principes sur le 2x2 qui en est une version simplifiée, il est maintenant temps de passer à l'ordre supérieur pour résoudre le **cube 4x4**.

De mon point de vue, passer du 3x3 au 4x4 est sans doute l'étape la plus exigeante dans la famille des cubes standards en termes d'apprentissage et de compréhension car, si toutes les situations déjà décrites sur le 2x2 et le 3x3 s'appliquent au 4x4, plusieurs phases supplémentaires sont nécessaires à sa résolution et quelques cas particuliers inconnus des cubes d'ordre 2 ou 3 doivent également être traités.

Une parfaite maîtrise de la résolution du 3x3 est donc indispensable avant de passer au 4x4 et plusieurs notions nouvelles doivent être abordées :

- **centres complets et arêtes complètes**
- **grands cubes et principe de réduction**
- **absence de centres fixes**
- **cas particuliers des grands cubes pairs**

Centres complets et arêtes complètes

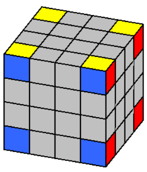


fig. 5.1
coins

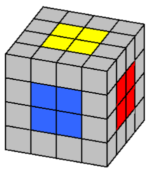


fig. 5.2
centres

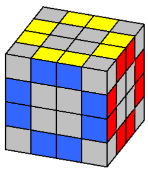


fig. 5.3
arêtes

L'augmentation du nombre de pièces d'un 4x4 par rapport à un 3x3 a plusieurs conséquences structurelles directes sur le cube.

Si, comme tout autre cube standard, le 4x4 comporte 8 coins individuels (*fig. 5.1*), ses centres ne sont plus des pièces unitaires mais se retrouvent scindés en plusieurs pièces individuelles formant des groupes (*fig. 5.2*), que je désignerai par l'expression **centres complets**. Un 4x4 compte 6 centres complets composés chacun de 4 centres individuels disposés en carré, soit 24 centres individuels.

De même, chaque arête du 4x4 n'est plus une pièce unique mais un groupe de 2 arêtes individuelles situées entre 2 coins consécutifs du cube (*fig. 5.3*). Par analogie avec les centres, j'utiliserai l'expression **arêtes complètes** pour désigner ces groupes. Chacune des 12 arêtes complètes étant composée de 2 pièces, un 4x4 compte donc 24 arêtes individuelles. Au total, le cube 4x4 comporte 56 pièces individuelles.

Grands cubes et principe de réduction

A partir du 4x4 et pour tout ordre supérieur, un cube standard comporte des centres et des arêtes scindés en plusieurs pièces individuelles. Par la suite, je qualifierai de **grand cube** tout cube standard correspondant à cette description.

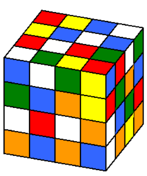


fig. 5.4
4x4
mélangé

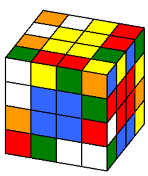


fig. 5.5
4x4 après résolution
des centres complets

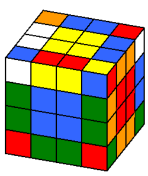


fig. 5.6
4x4 après résolution
des arêtes complètes

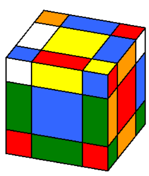


fig. 5.7
4x4 réduit à l'état
d'un 3x3 mélangé

Pour résoudre un grand cube à partir d'un état mélangé quelconque (*fig. 5.4*), une des techniques couramment utilisées consiste à résoudre d'abord ses centres complets (*fig. 5.5*) (c'est-à-dire rassembler dans un même centre complet tous les centres individuels de même couleur) puis ses arêtes complètes (*fig. 5.6*) (c'est-à-dire rassembler dans une même arête complète 2 arêtes individuelles partageant les 2 mêmes couleurs).

Une fois ces 2 étapes terminées, le 4x4 devient assimilable à un **3x3 mélangé** (*fig. 5.7*), dont on peut poursuivre la résolution comme tel, en limitant les rotations **à ses rangées externes**. Cette technique est appelée **principe de réduction**, car elle permet en théorie de réduire l'ordre du cube de 4 à 3 pour faciliter sa résolution.

Absence de centres fixes

Si le 4x4 possède 4 centres individuels par face, aucun d'eux n'est fixe quand on tourne la rangée externe associée car l'axe de rotation de la face ne passe par aucun de ces centres. Concrètement, chaque centre individuel d'un 4x4 peut donc être déplacé d'une face à une autre et, de ce fait, **aucune couleur n'est a priori associée à une face du 4x4**.

En début de résolution, on peut donc associer la couleur blanche à une face quelconque du cube. D'après le thème standard de couleurs, la face opposée sera donc nécessairement jaune une fois le cube résolu. On peut ensuite associer une des 4 couleurs restantes à n'importe laquelle des autres faces (par habitude, je choisis le rouge) mais la disposition des 3 dernières couleurs est alors imposée (couleur orange sur la face opposée et disposition des couleurs bleue, blanc et rouge dans le sens anti-horaire autour d'un des coins du cube).

Pour retrouver facilement le thème standard des couleurs, il suffit de se référer aux couleurs portées par les coins du cube. Par exemple, aucun coin ne comporte à la fois du blanc et du jaune parmi ses 3 facettes (idem pour le rouge et l'orange, ou le bleu et le vert), ce qui signifie que les faces portant ces 2 couleurs sont nécessairement situées à l'opposé l'une de l'autre sur le cube. Par ailleurs, il n'existe qu'un seul coin portant les 3 couleurs bleu, blanc et rouge et leur disposition sur ce coin est la même que celles des faces correspondantes sur le cube résolu. Cet aspect est essentiel car si on se trompe de face dans l'attribution des couleurs sur un 4x4, on aboutit à une situation insoluble en fin de résolution, au moment de réarranger les pièces de la rangée supérieure du cube.

Cas particuliers des grands cubes pairs

Si le principe de réduction (également transposable aux ordres supérieurs, comme le verra) a de nombreux avantages pratiques pour la suite de la résolution du 4x4, elle engendre quelques cas particuliers dans le cas des **grands cubes pairs**.

En effet, pour une raison mathématique, **on ne peut pas permuter 2 pièces seules sur un cube standard** : il y a toujours 2 autres pièces qui permutent en parallèle (le cas de permutation des 2 coins supérieurs droits du 2x2 est à part car 2 de ses pièces internes permutent bel et bien en parallèle). Ainsi, en permutant 2 paires de pièces sur un 4x4, on peut parvenir à certaines situations où le cube, une fois réduit à l'état d'un 3x3, se retrouve dans un état mélangé impossible à reproduire sur un véritable 3x3. En voici quelques exemples en fin de résolution :

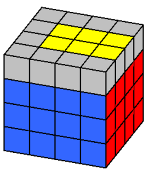


fig. 5.8
croix supérieure à 1 branche

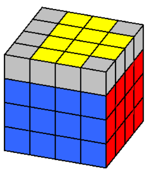


fig. 5.9
croix supérieure à 3 branches

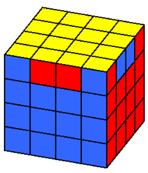


fig. 5.10
2 arêtes complètes permutées à 90°

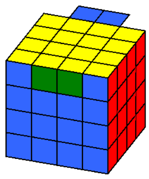


fig. 5.11
2 arêtes complètes permutées à 180°

- croix supérieure à nombre impair de branches (*fig. 5.8/5.9*)
- 2 arêtes complètes permutées à 90 ou 180° (*fig. 5.10/5.11*)

Résolution des centres complets

Principe général

Comme on l'a vu plus haut, la première étape de la méthode de réduction du 4x4 est la résolution des 6 centres complets du cube, qui consiste en l'assemblage de 4 centres individuels de même couleur sur chaque face du cube.

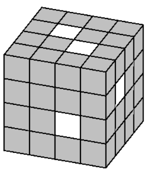


fig. 5.12
centres individuels blancs isolés

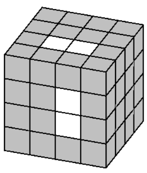


fig. 5.13
assemblages de 2x1 centres blancs

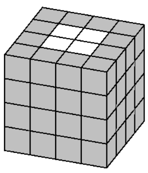


fig. 5.14
centre complet blanc résolu

Les centres individuels d'un 4x4 étant arrangés en carrés de 2x2 pièces, l'idée générale de cette phase de la résolution est de réunir des centres individuels isolés de même couleur (*fig. 5.13*) pour créer 2 assemblages verticaux ou horizontaux de 2 centres de même couleur (*fig. 5.11/5.12*) puis de placer ces 2 assemblages côte à côte sur la même face et former ainsi un carré uniforme de la couleur voulue (centre complet) (*fig. 5.13*).

(1/5) Résolution du 1^{er} centre complet (blanc)

Par habitude, je commence par résoudre le centre complet blanc. Cette phase de la résolution est relativement intuitive et fait intervenir des rotations de rangées externes du cube ou de moitiés du cube. La principale précaution à respecter lors de la création d'un assemblage de 2 centres individuels blancs est de vérifier que la rotation choisie ne provoque pas la séparation des centres individuels d'un éventuel $2^{ème}$ assemblage. Ceci est possible en orientant préalablement les rangées externes du cube, leurs rotations n'affectant pas les centres complets en cours d'assemblage.

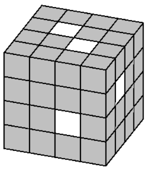


fig. 5.15
centres individuels blancs isolés

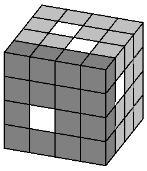


fig. 5.16
réorientation de la rangée avant

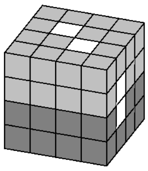


fig. 5.17
1^{er} assemblage sur la face droite

Dans cet exemple (*fig. 5.15*), les 4 centres individuels blancs sont isolés sur 3 faces du 4x4. En orientant convenablement la rangée avant (*fig. 5.16*) puis en tournant la moitié inférieure du cube (*fig. 5.17*), on obtient un 1^{er} assemblage de 2 centres individuels blancs sur la face droite.

Les 2 derniers centres blancs se trouvent disposés en diagonale sur la face supérieure. Pour les réagencer correctement, on doit d'abord les séparer sur 2 faces différentes du cube puis, après une réorientation de face, les réunir à nouveau pour former le $2^{ème}$ assemblage.

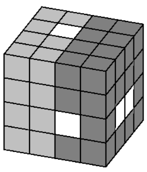


fig. 5.18
abaissement de la moitié droite

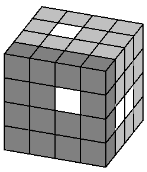


fig. 5.19
réorientation de la rangée avant

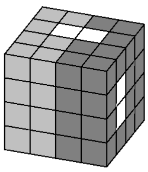


fig. 5.20
$2^{ème}$ assemblage sur la face supérieure

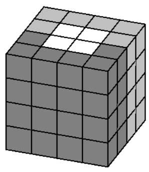


fig. 5.21
centre complet blanc résolu

Ici, on peut abaisser la moitié droite du cube (*fig. 5.18*), réorienter la rangée avant (*fig. 5.19*) puis remonter la moitié droite pour créer le $2^{ème}$ assemblage sur la face supérieure (*fig. 5.20*). Tourner la moitié avant du cube permet de réunir les 2 assemblages sur la face supérieure (*fig. 5.21*).

(2/5) Résolution du $2^{ème}$ centre complet (jaune), aller-retour et mise à l'abri

Une fois le premier centre complet résolu, il est plus commode de résoudre ensuite le centre complet de la face opposée du cube (dans notre exemple, la face jaune). De nouvelles contraintes apparaissent car on doit construire ce nouveau centre complet sans détruire le premier. Pour cela, on introduit les techniques essentielles de l'**aller-retour** et de la **mise à l'abri.**

Quelle que soit la rotation d'une moitié de cube choisie pour déplacer un ou plusieurs centres individuels jaunes sur la future face jaune (rotation **aller**), cette rotation provoquera toujours la séparation du centre complet blanc sur 2 faces différentes. Une rotation contraire (rotation **retour**) sera donc nécessaire pour le reconstituer. Mais si on réoriente entre ces 2 rotations la rangée contenant les centres jaunes déplacés pour les **mettre à l'abri** dans l'autre moitié du cube, ces centres jaunes pourront rester sur leur face de destination et le centre blanc sera reconstruit en parallèle.

1^{er} cas : aucun centre individuel jaune sur la future face jaune

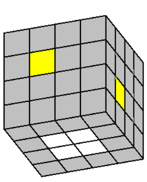


fig. 5.22
centres individuels jaunes isolés

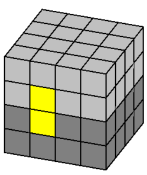


fig. 5.23
création du premier assemblage jaune

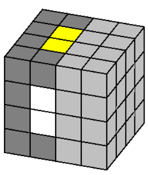


fig. 5.24
montée de l'assemblage jaune

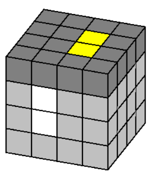


fig. 5.25
mise à l'abri de l'assemblage jaune

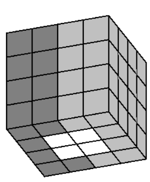


fig. 5.25
rotation retour de la moitié gauche

Dans cet exemple (*fig. 5.22*), on suppose que le centre complet blanc est sur la face inférieure du cube. Une rotation de la moitié inférieure du cube permet d'obtenir un 1^{er} assemblage jaune (*fig. 5.23*). Une rotation de la moitié gauche du cube (*fig. 5.24*) permet de remonter cet assemblage jaune sur la face supérieure mais une moitié du centre complet blanc inférieur est également déplacée dans l'opération. On met ensuite l'assemblage jaune à l'abri dans la moitié droite du cube en tournant d'un demi-tour la rangée supérieure (*fig. 5.25*). Il ne reste plus qu'à ramener la moitié gauche du cube vers le bas pour reconstruire le centre complet blanc (*fig. 5.26*).

2ème cas : un seul centre individuel jaune sur la future face jaune

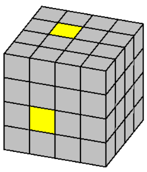


fig. 5.26
centres individuels jaunes isolés

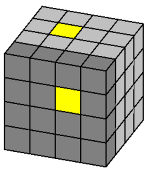


fig. 5.27
réorientation de la rangée avant

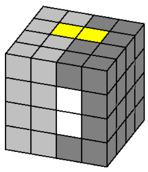


fig. 5.28
création de l'assemblage jaune

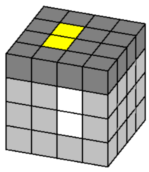


fig. 5.29
mise à l'abri de l'assemblage jaune

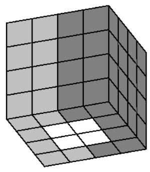


fig. 5.30
rotation retour de la moitié droite

La technique utilisée est très similaire dans ce cas. Dans cet exemple (*fig. 5.26*), on réoriente la rangée avant (*fig. 5.27*) puis on monte la moitié droite du cube pour obtenir un assemblage jaune sur la face supérieure (*fig. 5.28*). Pour reconstituer le centre blanc inférieur, on met l'assemblage jaune à l'abri dans la moitié gauche du cube (*fig. 5.29*) puis on ramène la moitié droite vers le bas (*fig. 5.30*).

3ème cas : 2 centres individuels jaunes disposés en diagonale sur la future face jaune

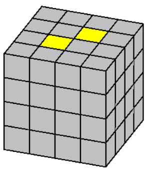


fig. 5.31
centres individuels jaunes en diagonale

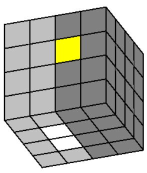


fig. 5.32
rotation aller de la moitié droite

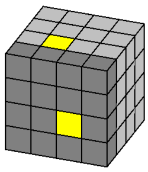


fig. 5.33
réorientation de la rangée avant

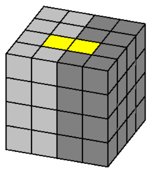


fig. 5.34
rotation retour de la moitié droite

Dans ce cas (*fig. 5.31*), on applique la technique de l'aller-retour en abaissant la moitié droite (*fig. 5.32*) (la moitié droite du centre complet blanc se trouve sur la face arrière du cube), en réorientant la rangée avant (*fig. 5.33*) puis en remontant la moitié droite (*fig. 5.34*) (le centre complet blanc est reconstitué sur la face inférieure).

4ème cas : 3 centres individuels jaunes disposés en L sur la future face jaune

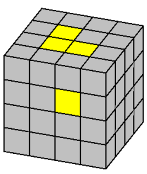


fig. 5.35
3 centres individuels jaunes en L

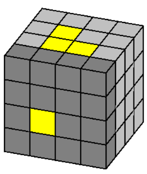


fig. 5.36
réorientation de la rangée avant

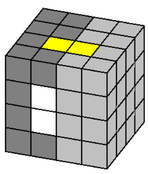


fig. 5.37
rotation aller de la moitié gauche

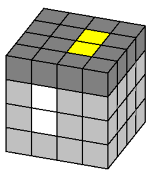


fig. 5.38
réorientation de la rangée supérieure

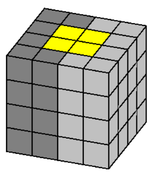


fig. 5.39
rotation retour de la moitié gauche

Dans ce cas (*fig. 5.35*), on réoriente la rangée avant (*fig. 5.36*) de manière à pouvoir remonter le centre individuel jaune isolé à la place du centre jaune individuel formant l'« angle » du L sur la face supérieure (*fig. 5.37*). 1 assemblage jaune de 2 centres est ainsi formé sur la face supérieure, l'autre assemblage jaune se retrouve sur la face arrière du cube et une moitié du centre complet blanc est visible sur la face avant. Après une réorientation de la rangée supérieure (*fig. 5.38*), on ramène la rangée gauche vers le bas pour terminer la résolution du centre complet jaune et reconstituer le centre complet blanc en parallèle (*fig. 5.39*).

5ème cas : réunion de 2 assemblages jaunes

Une fois 2 assemblages de 2 centres individuels jaunes obtenus sur le cube, on est tenté de les placer côte à côte sur la même face de la même manière qu'on l'avait fait pour terminer la résolution du centre complet blanc. Mais, en procédant de la sorte, la dernière rotation permettant de réunir les 4 centres individuels jaunes sépare systématiquement le centre complet blanc en deux. On va donc utiliser une nouvelle fois le principe de l'aller-retour pour éviter ce problème.

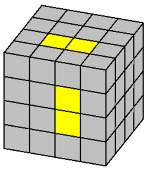


fig. 5.40
2 assemblages jaunes isolés

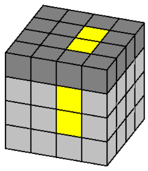


fig. 5.41
réorientation de la rangée supérieure

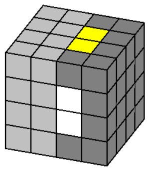


fig. 5.42
rotation aller de la moitié droite

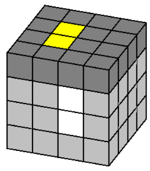


fig. 5.43
réorientation de la rangée supérieure

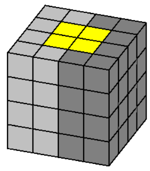


fig. 5.44
rotation retour de la moitié droite

Dans ce dernier cas (*fig. 5.40*), on réoriente les rangées externes du cube pour disposer les 2 assemblages dans la même rangée interne (ici, la droite) (*fig. 5.41*). On remonte ensuite la moitié droite (*fig. 5.42*) pour qu'un assemblage jaune « chasse » l'autre vers la face arrière du cube. On met ensuite à l'abri l'assemblage de la face supérieure dans la moitié gauche du cube (*fig. 5.43*) puis on ramène la moitié droite vers le bas pour terminer la résolution du centre complet jaune et reconstituer le centre complet blanc (*fig. 5.44*).

(3/5) Résolution du 3ème centre complet (rouge)

Une fois les centres complets blanc et jaune résolus sur 2 faces opposées du cube, on peut choisir la couleur et la face où assembler le centre complet suivant. Par habitude, je choisis le rouge.

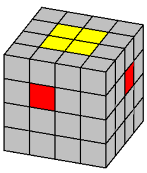


fig. 5.45
centres individuels rouges isolés

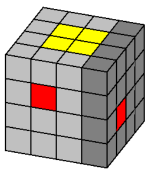


fig. 5.46
réorientation de la rangée droite

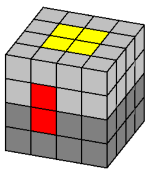


fig. 5.47
1er assemblage créé

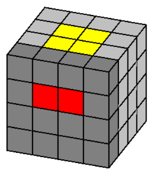


fig. 5.48
réorientation de la rangée avant

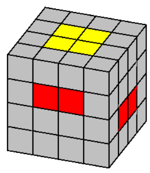


fig. 5.49
2ème assemblage créé

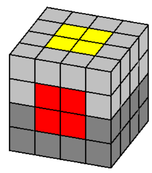


fig. 5.50
centre complet résolu

En partant de centres individuels rouges isolés (*fig. 5.45*), on oriente les rangées externes du cube (*fig. 5.46*) et, en faisant jouer ses moitiés supérieure et inférieure (sans incidence sur les centres complets blanc et jaune sur les faces inférieure et supérieure du cube), on obtient facilement un premier assemblage vertical de 2 centres individuels rouges (*fig. 5.47*), qu'on réoriente ensuite à l'horizontale (*fig. 5.48*).

En réutilisant les mêmes techniques, on construit un 2ème assemblage sur une autre face latérale du cube (*fig. 5.49*). On vient ensuite le placer à côté du premier pour terminer la résolution du 3ème centre complet (*fig. 5.50*).

(4/5) Résolution du 4ème centre complet (bleu)

Pour le 4ème centre complet, je choisis habituellement le bleu. Ici, on n'a plus le choix de la face car le thème standard des couleurs nous impose d'avoir les couleurs **bleu, blanc et rouge** disposées selon le **sens anti-horaire** sur le cube.

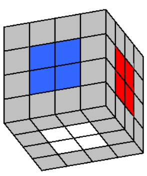


fig. 5.51
disposition des centres complets bleu, blanc et rouge

Si on oriente le cube avec le centre complet jaune sur la face supérieure, le centre complet blanc sur la face inférieure et le centre complet rouge sur la face droite (*fig. 5.51*), le centre complet bleu doit donc être construit sur la face avant du cube .

Pour la résoudre, on utilise (comme pour le centre complet rouge) des réorientations des faces latérales du cube et des rotations de ses rangées supérieure ou inférieure. Pour ne pas séparer le centre complet rouge en 2, on applique le principe de l'aller-retour déjà vu auparavant pour les rotations des moitiés supérieures et inférieurs du cube. Cela permet d'amener de nouveaux centres individuels bleus sur la face avant du cube tout en gardant le centre complet rouge résolu.

(5/5) Résolution des 2 derniers centres complets (orange et vert)

Si on a respecté la chronologie des centres complets blanc, jaune, rouge et bleu, les 2 derniers centres complets orange et vert à résoudre se trouvent sur 2 faces mitoyennes du cube.

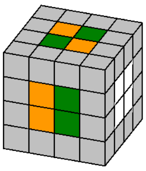


fig. 5.52
2 derniers centres complets

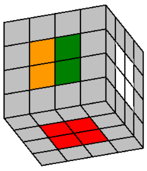


fig. 5.53
couleur du centre complet inférieur

Pour faciliter le repérage, on oriente le cube de manière à avoir ces 2 faces en position supérieure et avant (*fig. 5.52*). Les couleurs orange et vert étant généralement réparties sur ces 2 faces, on doit d'abord déterminer quelle doit être la couleur finale de chaque centre complet. Pour cela, on regarde la couleur du centre complet de la face inférieur.

Dans notre exemple, celui-ci est rouge (*fig. 5.53*), ce qui signifie que le centre complet supérieur du cube soit être orange une fois résolu et le centre complet avant vert une fois résolu. Si on se focalise sur la résolution du centre complet supérieur orange, le centre complet vert sera résolu en parallèle par échange de centres individuels entre la face supérieure et la face avant du cube.

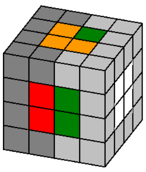


fig. 5.52
rotation aller de la moitié gauche

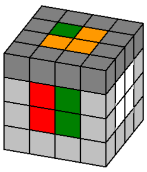


fig. 5.53
réorientation de la rangée supérieure

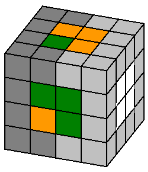


fig. 5.54
rotation retour de la moitié gauche

Dans notre exemple, on peut monter les 2 centres individuels orange de la face avant sur la face supérieure (*fig. 5.54*). Une partie du centre complet rouge inférieur a rejoint la face avant, on va donc appliquer le principe de l'aller retour avec la moitié gauche du cube. On réoriente la rangée supérieure du cube (*fig. 5.53*) puis on ramène la moitié gauche vers le bas (*fig. 5.54*). On a maintenant 3 centres individuels orange disposés en L sur la face supérieure, il ne reste donc plus qu'à y placer le 4ème.

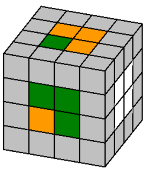


fig. 5.55
3 centres individuels orange disposés en L

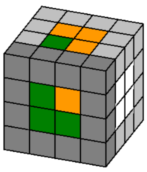


fig. 5.56
réorientation de la rangée avant

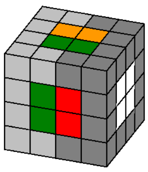


fig. 5.57
rotation aller de la moitié droite

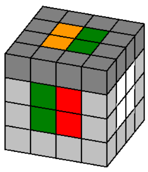


fig. 5.58
réorientation de la rangée supérieure

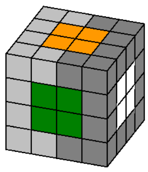


fig. 5.59
rotation retour de la moitié droite

Dans cette configuration (*fig. 5.55*), on doit amener le dernier centre individuel orange à la place de celui occupant l'« angle » du L. Pour ça, on réoriente la rangée avant (*fig. 5.56*) et on effectue une rotation aller de la moitié droite du cube pour obtenir un assemblage de 2 centres individuels orange sur la face supérieure (*fig. 5.57*). On met ensuite cet assemblage à l'abri dans la moitié gauche du cube (*fig. 5.58*) puis on ramène la moitié droite (rotation retour) pour terminer la résolution du centre complet supérieur orange et reconstituer le centre complet inférieur rouge (*fig. 5.59*). On vérifie bien qu'on a également résolu en parallèle le centre complet vert sur la face avant. Tous les centres complets du cube sont donc résolus.

Résolution des arêtes complètes et réduction du 4x4

Principe général

Une fois les 6 centres complets du 4x4 résolus, on peut les assimiler à ceux d'un 3x3. Mais pour terminer la réduction du 4x4 en un 3x3, on doit aussi résoudre les 12 arêtes complètes du cube, c'est-à-dire créer des assemblages de 2 arêtes individuelles partageant les 2 mêmes couleurs.

Configuration-type et préparation de l'assemblage

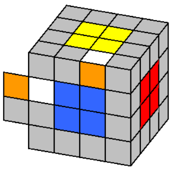


fig. 5.60
repérage de 2 arêtes individuelles jumelles

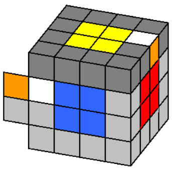


fig. 5.61
réorientation de la rangée supérieure

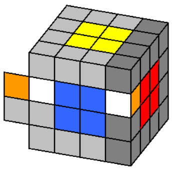


fig. 5.62
réorientation de la rangée droite

Pour résoudre une arête complète, on doit d'abord repérer sur le cube 2 arêtes individuelles partageant les 2 mêmes couleurs (ici, les 2 arêtes blanches et orange) (*fig. 5.60*). Pour toute la suite de la résolution, je parlerai d'**arêtes jumelles** pour désigner un tel couple d'arêtes individuelles.

En manœuvrant les rangées externes du cube (les centres complets résolus ne sont pas affectés) (*fig. 5.61-5.62*), on place une des 2 arêtes jumelles dans l'arête complète gauche de la face avant et l'autre dans l'arête complète droite de cette même face. L'objectif est de parvenir à une **configuration-type** où l'une des arêtes jumelles occupe la **rangée interne supérieure** (ici, du côté gauche) et l'autre la **rangée interne inférieure** (ici, du côté droit) sur la face avant (*fig. 5.63*). Dans cette situation, les 2 arêtes jumelles montrent des **couleurs différentes** sur la face avant.

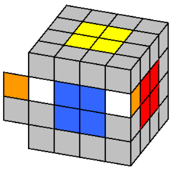


fig. 5.63
2 arêtes individuelles jumelles dans la même rangée

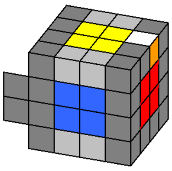


fig. 5.64
abaissement de la rangée gauche et remontée de la rangée droite

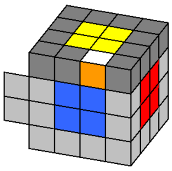


fig. 5.65
rotation de la rangée supérieure vers la gauche

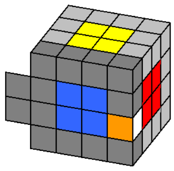


fig. 5.66
rotation horaire de la rangée avant

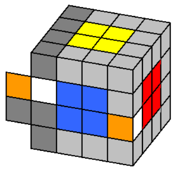


fig. 5.67
remontée de la rangée gauche

Si les 2 arêtes jumelles se retrouvent **dans la même rangée horizontale** de la face avant (elles montrent alors la **même couleur** sur la face avant du cube) (*fig. 5.63*), on doit retourner l'une des arêtes complètes gauche et droite de la rangée avant du cube. Par habitude, je retourne l'arête complète droite.

Pour cela, on abaisse la rangée externe gauche et on remonte la rangée externe droite (*fig. 5.64*), on tourne la rangée supérieure vers la gauche (*fig. 5.65*) puis on tourne la rangée avant dans le sens horaire (*fig. 5.66*) et on remonte la rangée gauche (*fig. 5.67*). On est ainsi ramené à la **configuration-type** décrite plus haut.

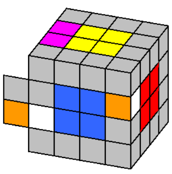


fig. 5.68
configuration-type des arêtes jumelles (variante gauche)

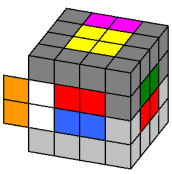


fig. 5.69
assemblage des arêtes jumelles du côté gauche

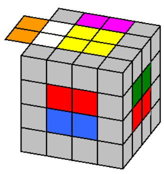


fig. 5.70
montée de l'arête complète résolue dans la rangée supérieure

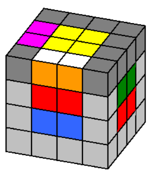


fig. 5.71
déplacement de l'arête complète résolue vers l'avant

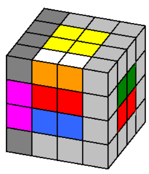


fig. 5.72
rangée gauche ramenée vers le bas

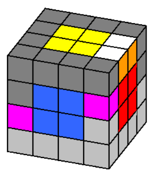


fig. 5.73
moitié supérieure ramenée vers la droite

Dans la variante gauche de la configuration-type (*fig. 5.68*), l'assemblage des 2 arêtes jumelles est obtenu du côté gauche en tournant la moitié supérieure du cube vers la gauche (*fig. 5.69*). Les centres complets des 4 faces latérales se retrouvent momentanément mélangés. Selon le principe de l'aller-retour, une rotation contraire sera nécessaire pour les reconstituer.

Avant cela, on met à l'abri la nouvelle arête complète résolue blanche et orange en montant la rangée gauche (*fig. 5.70*) puis en tournant la rangée supérieure vers la droite (*fig. 5.71*). L'arête complète résolue est alors visible au sommet de la face avant. On ramène ensuite la rangée gauche vers le bas (*fig. 5.72*), puis la moitié supérieure du cube vers la droite pour reconstituer les centres complets des faces latérales du cube (*fig. 5.73*).

Sur les schémas précédents, j'ai repéré en magenta l'arête complète initialement située du côté gauche dans la rangée supérieure du cube. Au terme des rotations nécessaires pour résoudre une nouvelle arête complète, on remarque que les 2 pièces de cette arête complète de couleur magenta se retrouvent séparées de chaque côté de la rangée avant du cube (*fig. 5.73*). Pour cette raison, si l'assemblage d'une nouvelle arête complète doit avoir lieu du **côté gauche**, on devra au préalable vérifier que l'**arête complète supérieure gauche du cube n'est pas déjà résolue** (sans quoi, elle ne le restera pas). De même, si l'assemblage doit avoir lieu du **côté droit**, on vérifiera l'état de l'**arête complète supérieure droite**.

Si cette arête complète supérieure gauche est déjà résolue et doit être remplacée, on commence par orienter différemment la **rangée supérieure** du cube pour remplacer l'arête complète résolue par une des 3 autres arêtes complètes de la rangée. Si les 4 arêtes complètes de la rangée supérieure sont résolues, on peut orienter différemment **l'ensemble des 3 rangées arrière** du cube. Enfin, si aucune de ces rotations n'apporte de solution, on oriente différemment **la rangée inférieure** du cube avant de modifier l'orientation de **l'ensemble de ses 3 rangées arrière**.

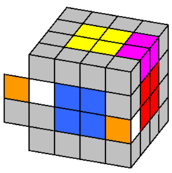


fig. 5.74
configuration-type des arêtes jumelles (variante droite)

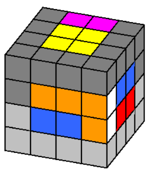


fig. 5.75
assemblage des arêtes jumelles du côté droit

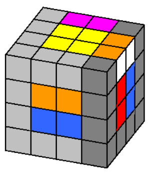


fig. 5.76
montée de l'arête complète résolue dans la rangée supérieure

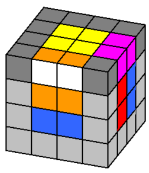


fig. 5.77
déplacement de l'arête complète résolue vers l'avant

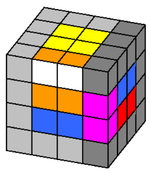


fig. 5.78
rangée droite ramenée vers le bas

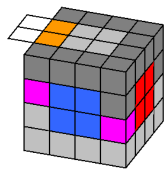


fig. 5.79
moitié supérieure ramenée vers la gauche

Dans la **variante droite** de la configuration-type décrite plus haut (*fig. 5.74*), l'assemblage des 2 arêtes jumelles est obtenu **du côté droit** en tournant la moitié supérieure du cube **vers la droite** (*fig. 5.75*). L'enchaînement des rotations suivantes est symétrique à celui de la variante gauche (*fig. 5.76-5.77-5.78-5.79*). Les mêmes précautions préalables doivent être prises, cette fois-ci en rapport avec l'arête complète initialement située **du côté droit** dans la rangée supérieure.

Résolution des arêtes complètes suivantes

En revenant à la configuration-type décrite plus haut pour chaque couple d'arêtes jumelles puis en appliquant les rotations adaptées, on peut résoudre une à une les autres arêtes complètes du 4x4. Au moins 10 des 12 arêtes complètes du cube peuvent être résolues de cette manière.

Cas particulier des 2 dernières arêtes complètes non résolues

Selon le cas, les 2 dernières arêtes complètes du cube peuvent être déjà résolues (auquel cas la réduction du cube 4x4 est terminée) ou se trouver dans un état mélangé particulier. Dans les schémas suivants, je me place dans ce dernier cas en ne représentant que les 2 dernières arêtes complètes non résolues du 4x4.

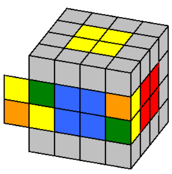


fig. 5.80
2 dernières arêtes complètes mélangées (couleurs croisées)

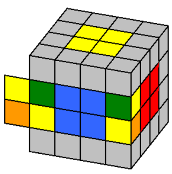
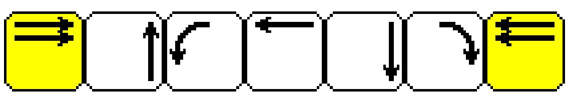


fig. 5.81
2 dernières arêtes complètes mélangées (config. de référence)

Dans un premier temps, on oriente le cube et ses rangées externes de manière à placer les 2 dernières arêtes complètes mélangées en position **gauche** et **droite** dans la **rangée avant** du cube (dans cet exemple, les couples d'arêtes jumelles jaune-vert et jaune-orange) (*fig. 5.75*).

Si **2 arêtes jumelles** se trouvent dans des **rangées horizontales différentes** (cas des couleurs croisées) (*fig. 5.80*), on **retourne l'arête complète droite du cube** comme décrit plus haut pour obtenir un nouvel agencement (*fig. 5.81*) qui sera la **configuration de référence** avant d'appliquer l'algorithme suivant :



U'u' R F' U R' F Uu
algorithme du PUITS

N.B. : L'algorithme du puits permute en diagonale l'arête individuelle supérieure de l'arête complète gauche et l'arête individuelle inférieure de l'arête complète droite de la face avant. Pour mémoriser plus facilement cet algorithme, j'utilise l'image d'un puits avec son seau remontant au bout d'une corde passant par-dessus une poulie puis redescendant au fond. La poulie correspond à la rangée avant du cube et le chemin de la corde à la rangée droite et la rangée supérieure. Après une première rotation de la moitié supérieure du cube vers la droite (qui remélange momentanément 4 centres complets sur le cube), le seau remonte le long de sa corde (la rangée droite monte) et la poulie du puits tourne (la rangée avant tourne dans le sens anti-horaire). Une fois passée la poulie, la corde continue son mouvement vers la gauche à l'horizontale (la rangée supérieure tourne vers la gauche).On fait ensuite redescendre le seau au fond du puits (la rangée droite redescend) en tournant la poulie dans l'autre sens (la rangée avant tourne dans le sens horaire). Pour finir, on ramène la moitié supérieure du cube vers la gauche pour reconstituer ses centres complets.

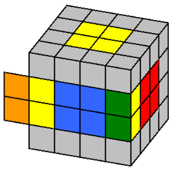


fig. 5.82
2 dernières arêtes complètes résolues

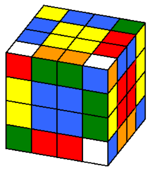


fig. 5.83
12 arêtes complètes résolues

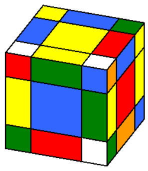


fig. 5.83
cube 4x4 réduit à un 3x3

Au terme de cet algorithme, les couples d'arêtes jumelles se retrouvent chacun d'un côté (à gauche et à droite dans la rangée avant) et les 2 dernières arêtes complètes du cube sont ainsi résolues (*fig. 5.82*).

Les 6 centres complets et les 12 arêtes complètes du 4x4 étant maintenant résolues (*fig. 5.83*), le cube 4x4 est virtuellement réduit à l'état d'un 3x3 mélangé si on considère ses 2 rangées centrales comme une seule et unique rangée selon chacune des 3 dimensions du cube (*fig. 5.84*).

Résolution des 2 premières rangées du cube 4x4 réduit

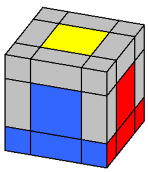


fig. 5.84
rangée inférieure résolue sur le 4x4 réduit

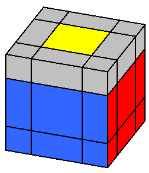


fig. 5.85
zone équatoriale résolue sur le 4x4 réduit

Pour la suite de la résolution, on reprend à l'identique les principes de résolution appliqués au cube 3x3 pour ses rangées inférieure et équatoriale, en remplaçant les arêtes individuelles du 3x3 par les arêtes complètes résolues du 4x4 réduit.

On résout donc en premier la rangée inférieure du 4x4 réduit (*fig. 5.84*), puis sa zone équatoriale correspondant aux rangées internes supérieures et inférieures réunies du 4x4 (*fig. 5.85*).

Résolution de la rangée supérieure et cas particuliers

(1/4) Construction de la croix supérieure et algorithme de retournement

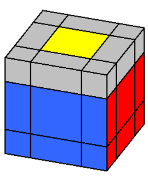


fig. 5.86
croix supérieure sans branches (centre complet seul)

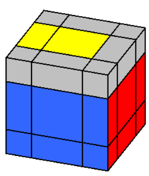


fig. 5.87
croix supérieure à 1 branche

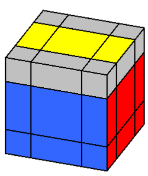


fig. 5.88
croix supérieure à 2 branches alignées

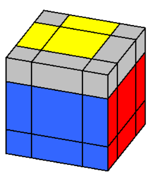


fig. 5.89
croix supérieure à 2 branches en L

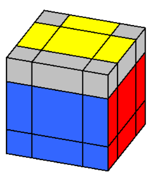


fig. 5.90
croix supérieure à 3 branches

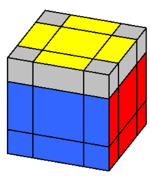


fig. 5.91
croix supérieure résolue

On cherche alors (comme sur le 3x3) à construire une croix supérieure jaune. Si on retrouve les cas déjà connus du 3x3 d'une croix à nombre de branches pair (*fig. 5.86-5.88-5.89-5.91*), on peut aussi rencontrer des cas particuliers où la croix comporte une (*fig. 5.87*) ou 3 branches (*fig. 5.90*).

Dans les cas où la croix supérieure comporte un **nombre pair** de branches (hormis le cas trivial où la croix est déjà complète), on applique l'**algorithme du COFFRE** comme sur le 3x3 en respectant une orientation préalable de la croix conforme aux schémas ci-dessus.

Si la croix ne comporte qu'**une seule branche**, on l'oriente du côté **gauche** (*fig. 5.87*) avant d'appliquer l'**algorithme du COFFRE** pour obtenir une croix à 3 branches (*fig. 5.90*).

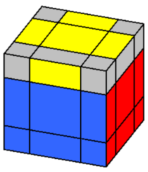


fig. 5.92
croix supérieure
à 3 branches
sur le 4x4 réduit

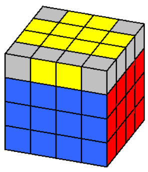
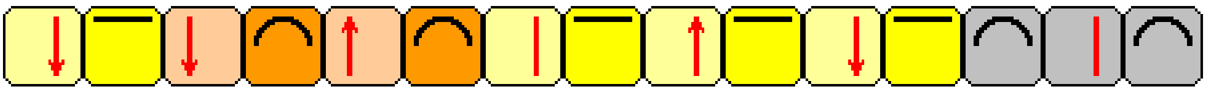


fig. 5.93
croix supérieure
à 3 branches
sur le 4x4

Si la croix comporte 3 branches, on oriente la rangée supérieure pour que la branche manquante de la croix soit vers l'avant (*fig. 5.92*). Pour obtenir une croix complète, on doit modifier l'orientation de l'arête complète avant de la rangée supérieure pour que sa couleur jaune se retrouve sur la face supérieure du cube. En pratique, si on considère à nouveau le cube comme un 4x4 (*fig. 5.93*), cela revient à permuter les 2 arêtes individuelles avant de sa rangée supérieure, pour effectuer un **retournement** de l'arête complète avant. On a besoin pour cela d'appliquer un algorithme spécifique :



r' U2 l F2 l' F2 r2 U2 r U2 r' U2 F2 r2 F2
algorithme de RETOURNEMENT

N.B. : Cet algorithme (le plus long nécessaire pour la résolution d'un cube standard) d'apparence complexe mérite quelques précisions et conseils pour faciliter sa mémorisation.

*Tout d'abord, les rangées gauche et droite intervenant dans cet algorithme sont les **rangées internes** du cube, dans lesquelles se trouvent en particulier les 2 arêtes individuelles à permuter. Ensuite, on doit retenir que :*

- *chaque rotation de la rangée **interne droite** (la 1ère utilisée dans l'algorithme) est suivie d'un **demi-tour de la rangée supérieure** (en jaune)*
- *chaque rotation de la rangée **interne gauche** (la 3ème utilisée dans l'algorithme) est suivie d'un **demi-tour de la rangée avant** (en orange)*

Si on ne considère que les rotations des rangées gauche et droite en début d'algorithme, le premier mouvement est celui de la rangée droite vers le bas et on change ensuite alternativement de côté en ajoutant chaque fois une rotation :

- *rangée droite : vers le bas*
- *rangée gauche : vers le bas puis vers le haut*
- *rangée droite : demi-tour, vers le haut puis vers le bas*

L'algorithme de retournement se termine par un demi-tour de la rangée avant, un demi-tour de la rangée interne droite et un nouveau demi-tour de la rangée avant. Il est important de bien maîtriser cet algorithme car il interviendra dans la résolution de tous les grands cubes d'ordre pair.

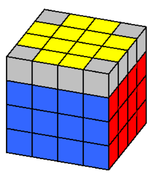


fig. 5.94
arête complète
supérieure avant
retournée
(croix résolue)

Au terme de cet algorithme, les facettes jaunes de l'arête complète supérieure avant se retrouvent sur la face supérieure et constituent la 4ème branche de la croix supérieure (*fig. 5.94*).

(2/4) Résolution de la face supérieure

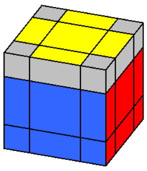


fig. 5.95
croix supérieure et aucun coin bien orienté

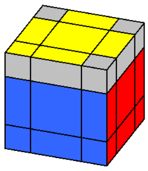


fig. 5.96
croix supérieure et 1 coin bien orienté

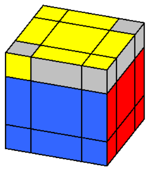


fig. 5.97
croix supérieure et 2 coins bien orientés

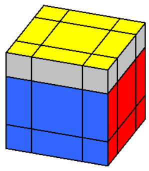


fig. 5.98
croix supérieure et 4 coins bien orientés

Comme sur le 3x3, la croix supérieure du 4x4 est complétée d'un nombre pair de facettes jaunes des coins supérieurs du cube.

Les règles à appliquer pour cette phase de la résolution sont identiques à celles du 3x3.

(3/4) Résolution des coins supérieurs

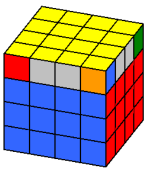


fig. 5.99
4 coins sans correspondance de couleur

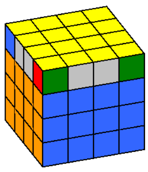


fig. 5.100
2 coins consécutifs en correspondance de couleur

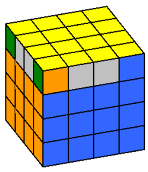


fig. 5.101
2 coins consécutifs en correspondance de couleur (à gauche)

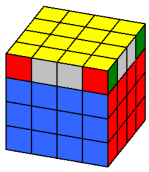


fig. 5.102
4 coins consécutifs en correspondance de couleur

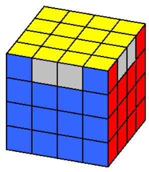


fig. 5.103
4 coins consécutifs en correspondance de couleur (résolus)

Comme sur le 3x3, le 4x4 présente un nombre pair de coins supérieurs en correspondance de couleurs (0, 2 ou 4).

Les règles à appliquer pour cette phase de la résolution sont identiques à celles du 3x3.

(4/4) Résolution des arêtes complètes supérieures et algorithme de la toupie

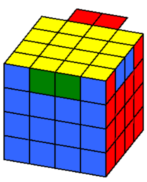


fig. 5.104
arêtes complètes supérieures mélangées (nombre pair de permutations)

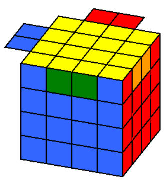


fig. 5.105
arêtes complètes supérieures mélangées (nombre impair de permutations)

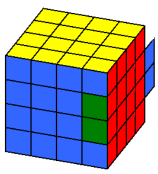


fig. 5.106
arêtes complètes droites permutées avec rangée supérieure résolue

Dans cette phase finale de la résolution du 4x4, le principe général reste le même que sur le 3x3 : on peut permuter des arêtes supérieures (des arêtes complètes supérieures dans le cas du 4x4) à 90° ou 180° grâce aux 2 algorithmes déjà décrits en pareil cas.

Si le nombre de permutations à effectuer est pair (*fig. 5.104*), la fin de résolution est identique à celle du 3x3 : chaque permutation d'arêtes complètes supérieures provoque une permutation parallèle des 2 arêtes complètes droites du cube mais cette permutation est annulée dès l'application de l'algorithme suivant. On parvient ainsi à résoudre la rangée supérieure, et donc le cube.

En revanche, si le nombre de permutations à effectuer est impair (*fig. 5.105*), les 2 arêtes complètes droites du 4x4 restent permutées une fois la rangée supérieure résolue (*fig. 5.106*). Dans ce dernier cas, il est inutile de réorienter le cube pour permuter ces arêtes complètes à 180° car 2 autres arêtes complètes se retrouveraient permutées à leur tour du côté droit du cube. Un dernier algorithme spécifique est donc nécessaire pour ce cas particulier.

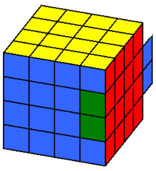


fig. 5.107
arêtes complètes droites permutées

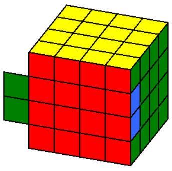
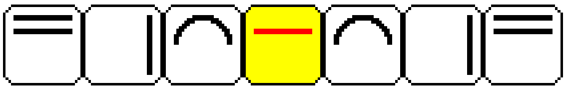


fig. 5.108
réorientation du cube

Les 2 arêtes complètes à permuter étant initialement du côté droit (*fig. 5.107*), on réoriente le cube pour les disposer en position gauche et droite dans la rangée avant (*fig. 5.108*) puis on applique l'algorithme suivant :



U2u2 R2 F2 u2 F2 R2 U2u2
algorithme de la TOUPIE

N.B. : Dans cet algorithme ne contenant que des rotations d'un demi-tour, l'axe de la rotation change à chaque mouvement. Pour s'en souvenir, on peut imaginer une toupie sur le point de s'arrêter et dont l'axe de rotation oscille de plus en plus. Initialement, cet axe change de face dans le sens horaire en commençant par la face supérieure (rotation de la moitié supérieure) puis par la face droite (rotation de la rangée droite) et enfin la face avant (rotation de la rangée avant). Ensuite on applique un demi-tour à la rangée interne supérieure puis on reprend les 3 premières rotations de l'algorithme dans l'ordre contraire (enchaînement des faces selon le sens anti-horaire) : rangée avant, rangée droite puis moitié supérieure

Bravo ! Vous avez terminé la résolution de votre 4x4 !

6. RESOLUTION DU CUBE STANDARD 5X5

Introduction

Après le 4x4, le **cube 5x5** est le 2$^{\text{ème}}$ grand cube dans la famille des cubes standards. Il est resté de nombreuses années l'ordre maximum disponible sur un cube standard. Si l'essentiel des techniques nécessaires pour le résoudre est connu car directement repris des 3x3 et 4x4, l'ordre impair du 5x5 permet d'éviter les cas particulier du 4x4. Le principe de réduction reste d'actualité pour le début de la résolution de ce type de cube.

Parmi les aspects particuliers du 5x5, je reviendrai sur les 2 suivants :

- **retour des centres fixes**
- **échange de centres individuels entre faces**

Centres fixes

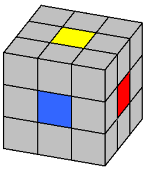


fig. 6.1
centres fixes sur un cube 3x3

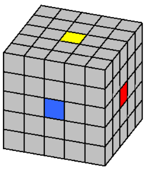


fig. 6.2
centres individuels fixes sur un cube 5x5

A l'image d'un cube 3x3 (*fig. 6.1*), le 5x5 est un cube d'ordre impair, ce qui implique l'existence d'un centre individuel fixe sur chacune de ses faces (*fig. 6.2*). La couleur finale d'une face d'un 5x5 est donc imposée par la couleur de ce centre individuel fixe.

Résolution des centres complets

Principe général

A l'image du 4x4, on commence la résolution du 5x5 par celle de ses centres complets. Le principe général reste le même mais, contrairement au 4x4 où 2 assemblages de 2 centres individuels de même couleur doivent être créés puis réunis pour résoudre un centre complet, on doit ici créer 3 assemblages linéaires de 3 centres individuels de même couleur.

(1/3) Résolution du 1$^{\text{er}}$ centre complet (blanc)

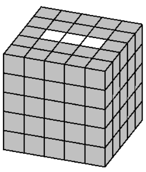


fig. 6.4
1$^{\text{er}}$ assemblage central

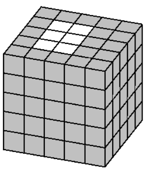


fig. 6.5
2 assemblages réunis

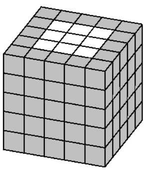


fig. 6.6
3 assemblages réunis

L'autre différence par rapport au 4x4 est liée à la présence du centre individuel fixe de chaque face : le premier assemblage de 3 centres individuels à construire doit passer par ce centre fixe (*fig. 6.4*), les 2 autres assemblages étant ensuite amenés de chaque côté du premier (*fig. 6.5-6.6*). Dans le cas du 1$^{\text{er}}$ centre complet, on crée intuitivement ces assemblages en manœuvrant les rangées externes et internes du cube.

(2/3) Résolution des 3 centres complets suivants (jaune, rouge et bleu)

Une fois le centre complet blanc résolu, on passe comme sur le 4x4 sur la face opposée pour construire le centre complet jaune. Là aussi, on commence par un assemblage passant par le centre individuel jaune central puis on construit les 2 autres assemblages jaunes sur les 4 faces voisines avant de les mettre en place aux côtés du premier.

A partir de ce 2$^{\text{ème}}$ centre complet, on applique le principe de l'aller-retour pour toute rotation d'une rangée interne du cube afin de compléter le centre complet jaune tout en conservant l'état résolu du centre complet blanc sur la face opposée.

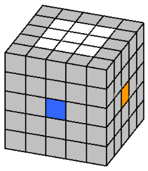


fig. 6.7
centre complet blanc résolu

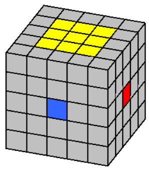


fig. 6.8
centre complet jaune résolu

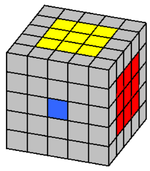


fig. 6.9
centre complet rouge résolu

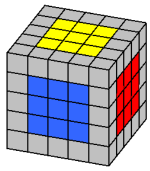


fig. 6.10
centre complet bleu résolu

Une fois les centres complets blanc (*fig. 6.7*) et jaune (*fig. 6.8*) résolus, je passe à la résolution des centres complets rouge (*fig. 6.9*) puis bleu (*fig. 6.10*).

(3/3) Résolution des 2 derniers centres complets (orange et vert) et permutation de centres individuels entre faces

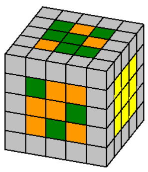


fig. 6.11
2 derniers centres complets mélangés

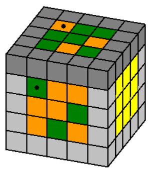


fig. 6.12
réorientation de la rangée supérieure

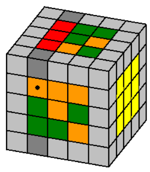


fig. 6.13
descente d'un coin individuel orange sur la face avant

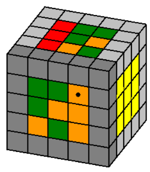


fig. 6.14
rotation horaire de la rangée avant

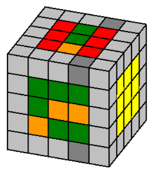


fig. 6.15
descente du coin individuel orange repéré sur la face inférieure

Les 2 derniers centres complets à résoudre sont logiquement les centres orange et vert, occupant 2 faces mitoyennes sur le 5x5. On oriente le cube pour disposer ces 2 centres complets en positions avant et supérieure (*fig. 6.11*) et on se focalise sur le centre complet avant. La face avant du cube étant sa future face orange (d'après la couleur de son centre individuel fixe), on s'intéresse aux emplacements des centres individuels ne portant pas cette couleur orange sur la face avant **dans le quart supérieur gauche de la face avant, rangées centrales comprises** (si aucun centre individuel vert ne s'y trouve, on réoriente la rangée avant).

On remarque par exemple le centre individuel vert isolé en position supérieure gauche sur la face avant. On réoriente convenablement la rangée supérieure en anticipant une rotation vers le bas d'une rangée verticale du cube permettant de remplacer ce centre individuel vert par un centre individuel orange venant de la face supérieure (2 centres pointés) (*fig. 6.12*).

On descend ensuite le centre individuel orange pointé sur la face avant en tournant sa rangée verticale vers le bas (*fig. 6.13*) puis on tourne la rangée avant **dans le sens horaire** (*fig. 6.14*) et on abaisse la rangée verticale où se trouve le centre individuel orange pointé (*fig. 6.15*) pour l'emmener sur la face inférieure du cube.

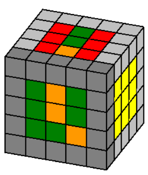


fig. 6.16
rotation anti-horaire de la rangée avant

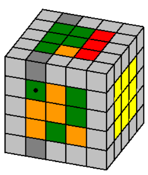


fig. 6.17
remontée de la première rangée verticale tournée

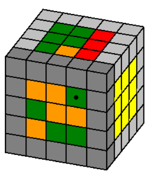


fig. 6.18
rotation horaire de la rangée avant

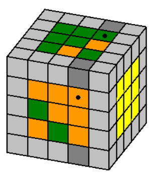


fig. 6.19
remontée de la 2ème rangée verticale tournée

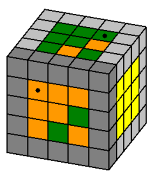


fig. 6.20
rotation anti-horaire de la rangée avant

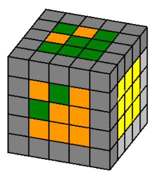


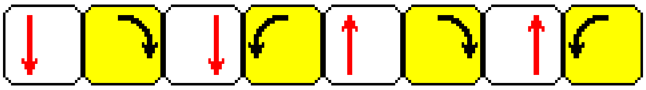
fig. 6.21
préparation des permutations suivantes

On ramène ensuite la rangée avant à son orientation initiale en la tournant dans le sens **anti-horaire** (*fig. 6.16*) et on remonte la première rangée verticale tournée (côté gauche) (*fig. 6.17*). On tourne à nouveau la rangée avant dans le sens **horaire** (*fig. 6.18*), puis on remonte la 2ème rangée verticale tournée (côté droit) (*fig. 6.19*).

Après avoir ramené la rangée avant à son orientation d'origine en la tournant dans le sens anti-horaire (*fig. 6.20*), on vérifie bien qu'on a amené un centre individuel orange supplémentaire sur la face avant à l'emplacement choisi.

Pour la suite de la résolution, on réoriente les faces avant et supérieure pour préparer d'autres centres individuels oranges à remplacer des centres individuels verts dans le quart supérieur gauche de la face avant (*fig. 6.21*) et on applique le même type de rotations que précédemment.

On peut résumer symboliquement ces rotations par l'enchaînement suivant :



l F r' F' l' F r' F'
permutation de centres individuels
entre la face supérieure et la face avant
(quart supérieur gauche de la face avant)

*N.B. : Les rangées gauche et droite intervenant dans cet algorithme sont les **rangées internes** du cube dans lesquelles se trouvent les centres individuels à permuter.*

Une fois le centre complet orange résolu sur la face avant, le centre complet vert est résolu en parallèle sur la face supérieure.

Résolution des arêtes complètes

Principe général

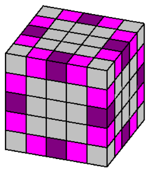


fig. 6.22
arêtes complètes du 5x5

La résolution des arêtes complètes du 5x5 est similaire dans son principe à celle des arêtes complètes d'un 4x4. Mais, ici, chaque arête complète est constituée de 3 arêtes individuelles au lieu de 2 (*fig. 6.22*), avec une arête individuelle centrale (en violet) et 2 arêtes individuelles latérales (en magenta). Plutôt que de parler d'arêtes jumelles, je parlerai ici d'**arête centrale** et d'**arêtes latérales associées**.

Pour résoudre une arête complète sur un 5x5, on choisit une arête individuelle centrale comme **référence de couleur et d'orientation** et on recherche sur le cube les 2 arêtes individuelles latérales partageant les 2 mêmes couleurs. Ensuite, on réalise un assemblage entre une arête centrale et une arête latérale associée puis on complète cet assemblage par la 2ème arête latérale associée.

Configuration-type et préparation de l'assemblage

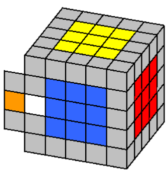


fig. 6.23
arête individuelle de référence du côté gauche

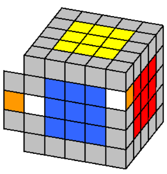


fig. 6.24
arête indiv. associée en position supérieure du côté droit (config. défavorable)

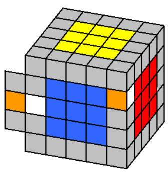


fig. 6.25
arête indiv. associée en position supérieure du côté droit (config. favorable)

La première étape est de choisir une arête individuelle centrale qui servira de repère de couleur et d'orientation (ici, l'arête individuelle centrale blanche et orange).

En manœuvrant les rangées externes du cube (les centres complets résolus ne sont pas affectés), on place cette arête individuelle centrale dans l'arête complète gauche de la face avant (*fig. 6.23*) et on amène une arête individuelle latérale associée en position supérieure dans l'arête complète droite de la face avant (*fig. 6.24*).

Si cette arête latérale associée présente sur la face avant la même couleur que l'arête centrale de référence, cela signifie qu'on a choisi le mauvais exemplaire d'arête associée parmi les 2 pièces possibles (*fig. 6.24*). On doit alors rechercher l'autre arête associée et l'amener à la même position (*fig. 6.25*). Si l'arête individuelle recherchée est en position basse dans l'arête complète droite, on peut retourner cette arête complète pour obtenir la configuration correcte (voir la résolution du 4x4).

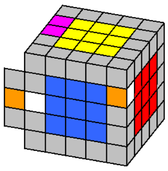


fig. 6.23
configuration-type des 2 arêtes à assembler (variante gauche)

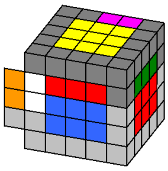


fig. 6.24
assemblage des 2 arêtes du côté gauche

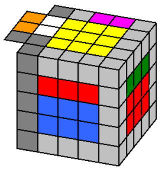


fig. 6.25
montée de l'assemblage dans la rangée supérieure

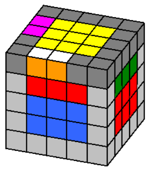


fig. 6.26
déplacement de l'assemblage vers l'avant

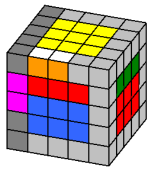


fig. 6.27
rangée gauche ramenée vers le bas

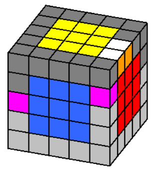


fig. 6.28
2 rangées supérieures ramenées vers la droite

De la même manière que sur le 4x4, on doit s'assurer que l'assemblage de ces 2 arêtes individuelles n'entraînera pas une séparation de 2 autres arêtes individuelles déjà assemblées. Pour ça, on vérifie l'état de l'arête complète gauche dans la rangée supérieure et en particulier celui de ses 2 arêtes individuelles situées les plus à l'arrière du cube (emplacements en magenta) (*fig. 6.23*).

Si ces arêtes individuelles sont déjà assemblées, on doit manœuvrer les rangées supérieure, inférieure et arrière du cube pour remplacer l'arête complète gauche par une autre ne présentant pas d'arêtes individuelles assemblées à ces 2 emplacements (on peut éventuellement retourner l'arête complète gauche du cube en effectuant un demi-tour de sa rangée supérieure puis une rotation dans le sens horaire de ses 4 rangées arrière).

A partir de cette configuration, on tourne les 2 rangées supérieures du 5x5 vers la gauche pour obtenir un assemblage des 2 arêtes individuelles blanches et orange dans l'arête complète gauche (*fig. 6.24*). On met ensuite à l'abri cet assemblage en montant la rangée gauche (*fig. 6.25*) puis en tournant la rangée supérieure vers la droite (*fig. 6.26*). Les 2 arêtes individuelles assemblées sont alors visibles au sommet de la face avant. On ramène ensuite la rangée gauche vers le bas (*fig. 6.27*), puis les 2 rangées supérieures du cube vers la droite pour reconstituer les centres complets des faces latérales du cube (*fig. 6.28*).

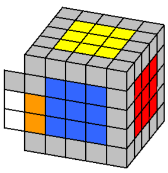


fig. 6.29
1^{er} assemblage de référence du côté gauche

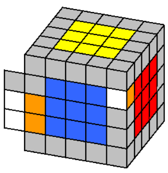


fig. 6.30
configuration-type pour la résolution de l'arête complète

Pour terminer l'assemblage de l'arête complète blanche et orange, on se replace ensuite dans une configuration-type similaire, avec les 2 arêtes individuelles assemblées dans l'arête complète gauche de la face avant du cube (*fig. 6.28*). En manœuvrant les rangées externes du cube, on peut amener la $2^{ème}$ arête individuelle associée (il ne reste plus qu'un exemplaire non assemblé sur le cube) en position supérieure dans l'arête complète complète droite de la face avant (*fig. 6.30*).

Il ne reste plus qu'à répéter les opérations précédentes pour obtenir l'assemblage final des 3 arêtes individuelles.

N.B. : Toutes ces opérations décrites dans le cas d'un assemblage du côté gauche du cube peuvent aussi être appliquées en miroir du côté droit.

Résolution des arêtes complètes suivantes

En appliquant les opérations précédentes, on peut résoudre une à une les autres arêtes complètes du 5x5. Comme dans le cas du 4x4, au moins 10 des 12 arêtes complètes du cube peuvent être résolues de cette manière.

Cas particulier des 2 dernières arêtes complètes non résolues

Selon le cas, les 2 dernières arêtes complètes du cube peuvent être déjà résolues (auquel cas la réduction du cube 5x5 est terminée) ou se trouver dans un état mélangé. Dans les schémas suivants, je me place dans ce dernier cas en ne représentant que les 2 dernières arêtes complètes non résolues du 5x5.

En raison du plus grand nombre de pièces du 5x5 par rapport au 4x4 (et en particulier de son nombre d'arêtes individuelles), cette situation peut se présenter sous de multiples variantes et si l'algorithme spécifique à utiliser est le même dans tous les cas (**algorithme du puits**, voir la résolution du 4x4), il est important de bien connaître ses effets avant de l'appliquer.

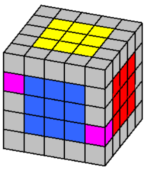


fig. 6.31
arêtes individuelles permutées par l'algorithme du puits

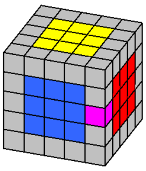


fig. 6.32
arête individuelle réorientée par l'algorithme du puits

Comme sur le 4x4, cet algorithme permute en diagonale l'arête individuelle supérieure de l'arête complète gauche et l'arête individuelle inférieure de l'arête complète droite de la face avant (*fig. 6.31*). Mais dans le cas du 5x5, il modifie également l'orientation de l'arête individuelle centrale de l'arête complète droite (*fig. 6.32*).

Pour ne pas se perdre dans la résolution des 2 dernières arêtes complètes du cube, l'objectif prioritaire est de **résoudre l'arête complète gauche** de la face avant. Si, à ce stade de la résolution, l'arête complète gauche comporte déjà 3 arêtes individuelles comportant les mêmes couleurs (qu'elles partagent ou non la même orientation), passer directement à la rubrique suivante. Dans le cas contraire, je vous propose ci-dessous un exemple de résolution.

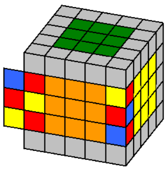


fig. 6.33
2 dernières arêtes complètes non résolues

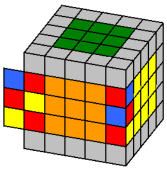


fig. 6.34
retournement de l'arête complète droite

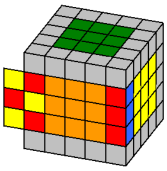


fig. 6.35
arêtes individuelles réunies par couleur

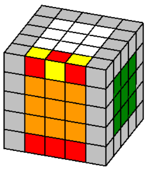


fig. 6.36
réorientation du cube

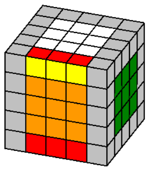
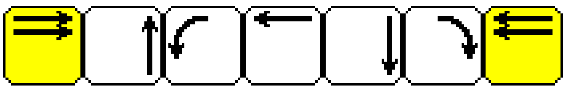


fig. 6.37
après application de l'algorithme de retournement

A partir de la configuration initiale (*fig. 6.33*), on cherche à réunir du côté gauche les arêtes individuelles latérales portant les mêmes couleurs que l'arête individuelle centrale de l'arête complète gauche, sans prendre en compte leur orientation dans un premier temps. Ici, on voit qu'une des arêtes individuelles rouges et jaunes est déjà présente. Il reste donc à mettre en place la 2ème par permutation.

Si on applique directement l'algorithme du puits, on va permuter en diagonale 2 arêtes individuelles rouges et bleues (l'arête individuelle supérieure du côté gauche et l'arête individuelle inférieure du côté droit), ce qui n'a aucun intérêt pour la résolution. On remarque qu'en retournant l'arête complète de droite (voir la résolution du 4x4), son arête individuelle rouge et jaune se retrouve en position inférieure (*fig. 6.34*). Dans cette nouvelle configuration, elle peut donc permuter avec l'arête individuelle supérieure du côté gauche en appliquant l'**algorithme du puits** déjà vu sur le 4x4 :



U'u' R F' U R' F Uu
algorithme du PUITS

N.B. : Le 5x5 étant un cube d'ordre impair, les première et dernière rotations décrites dans l'algorithme concernent les 2 rangées supérieures du cube et non sa moitié supérieure comme c'est le cas pour le 4x4.

Après application de l'algorithme (*fig. 6.35*), on constate que :

- la permutation en diagonale a bien permis de réunir les arêtes individuelles par couleur dans les 2 arêtes complètes
- l'arête individuelle centrale de l'arête complète droite s'est retournée, ce qui lui donne la même orientation que ses 2 arêtes associées
- les arêtes individuelles rouges et jaunes sont rassemblées sur la gauche mais les 2 arêtes individuelles latérales sont mal orientées

L'arête complète droite (rouge et bleue) est donc résolue mais il reste à rectifier l'orientation des 2 arêtes individuelles latérales de l'arête complète gauche. Pour cela, on réoriente le cube de manière à placer cette arête complète en position supérieure sur la face avant (*fig. 6.36*) puis on applique l'**algorithme de retournement** (voir la résolution du 4x4), en affectant les rangées « gauche » et « droite » intervenant dans l'algorithme aux 2 rangées internes correspondantes, dans lesquelles se trouvent les arêtes individuelles latérales à permuter (*fig. 6.37*). Leur orientation est alors rétablie et l'arête complète correspondante résolue.

N.B. : Parfois, il sera nécessaire d'utiliser l'algorithme de retournement pour rétablir l'orientation des arêtes individuelles latérales dans les 2 dernières arêtes complètes.

Fin de la résolution

Une fois ses centres complets et ses arêtes complètes résolus, le 5x5 est réduit à l'état d'un cube 3x3 mélangé. On peut donc le résoudre étage par étage de la même manière.

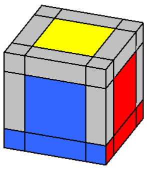


fig. 6.23
rangée inférieure résolue sur le 5x5 réduit

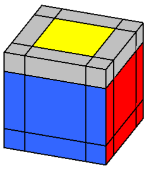


fig. 6.24
zone équatoriale résolue sur le 5x5 réduit

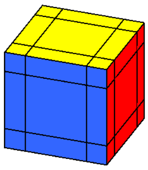


fig. 6.24
rangée supérieure résolue sur le 5x5 réduit

On résout d'abord sa rangée inférieure (*fig. 6.23*) puis sa zone équatoriale correspondant aux 3 rangées horizontales internes réunies du 5x5 (*fig. 6.24*) et enfin sa rangée supérieure (*fig. 6.25*). Le 5x5 étant un cube impair, la résolution de sa rangée supérieure ne comporte aucun cas particulier et le cube peut être résolu exactement de la même manière qu'un 3x3.

Bravo ! Vous avez terminé la résolution de votre 5x5 !

7. RESOLUTION DU CUBE STANDARD 6X6

Introduction

Comme le 4x4 et le 5x5, le **cube 6x6** est un grand cube dont la résolution implique une réduction à l'état d'un 3x3 mélangé. Toutes les techniques nécessaires à sa résolution ont déjà été abordées pour les cubes d'ordre inférieur et, si le 6x6 ne nécessite pas d'apprentissage supplémentaire (en particulier, pas de nouvel algorithme), il constitue une généralisation de l'ensemble de ces principes. De plus, il est d'ordre pair et comporte les mêmes cas particuliers que le 4x4, déclinables en plusieurs variantes. En cela, il est pour moi le cube standard le plus complet et le plus intéressant à résoudre pour une taille et un investissement encore raisonnables.

Enfin, comme on le verra, il peut à lui seul remplacer un 2x2, un 3x3, un 4x4 et un 5x5 !

Absence de centres fixes

A l'image d'un cube 4x4, le 6x6 est un cube d'ordre pair, ce qui implique l'absence de centres individuels fixes sur chacune de ses faces. Il est donc indispensable de connaître le thème de couleurs standard pour affecter correctement les 6 couleurs du cube à ses 6 faces.

Résolution des centres complets

Principe général

A l'image du 4x4 et du 5x5, on commence la résolution du 5x5 par celle de ses centres complets. Le principe général reste le même mais, contrairement au 5x5 où 3 assemblages de 3 centres individuels de même couleur doivent être créés puis réunis pour résoudre un centre complet, on doit ici créer 4 assemblages linéaires de 4 centres individuels de même couleur.

Le 6x6 étant comme le 4x4 un grand cube d'ordre pair, aucun ordre n'est imposé pour constituer ces assemblages linéaires avant de les réunir sur une face du cube.

(1/2) Résolution des 4 premiers centres complets

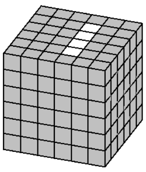


fig. 7.1 1[er] assemblage de 4x1 centres blancs

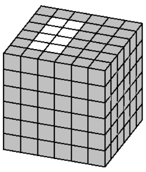


fig. 7.2 2 assemblages réunis

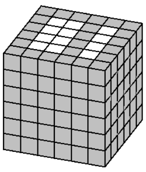


fig. 7.3 3 assemblages réunis

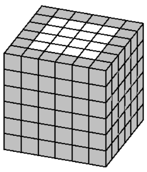


fig. 7.4 centre complet blanc résolu

En appliquant les mêmes principes de base que sur le 4x4 et le 5x5, créer un premier assemblage linéaires de 4 centres individuels blancs (*fig. 7.1*) puis le compléter avec 3 autres assemblages (*fig. 7.2-7.3-7.4*). Le 6x6 étant comme le 4x4 un grand cube d'ordre pair, aucune chronologie n'est imposée pour constituer ou réunir ces assemblages linéaires sur une face quelconque du cube.

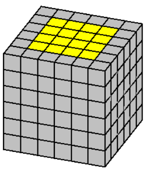


fig. 7.5 centre complet jaune résolu sur la face opposée

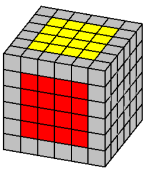


fig. 7.6 centre complet rouge résolu sur une autre face

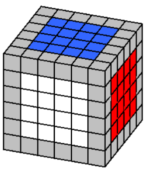


fig. 7.7 centre complet bleu résolu

Construire ensuite des assemblages de 4 centres individuels jaunes et les mettre en place un par un sur la face opposée en utilisant la technique de l'aller-retour pour ne pas détruire le centre complet blanc (*fig. 7.5*). Recommencer avec des assemblages de 4 centres rouges puis choisir une des 4 autres faces du cube pour reconstituer le centre complet rouge (*fig. 7.6*).

En respectant le thème de couleurs standard (en particulier la disposition anti-horaire des couleurs bleu-blanc-rouge), résoudre enfin le centre complet bleu (*fig. 7.7*).

(2/2) Résolution des 2 derniers complets

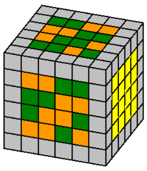


fig. 7.8
2 derniers centres complets non résolus

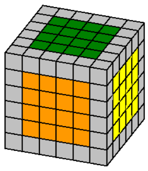


fig. 7.9
2 derniers centres complets résolus

Le cube comprend 2 centres complets orange et vert encore non résolus (*fig. 7.8*). Comme sur le 4x4, déterminer l'emplacement final de chacun des centres complets d'après sa couleur (ici, le centre complet vert se trouvera nécessairement sur la face supérieure et le centre complet orange sur la face avant du cube).

Résoudre ensuite ces 2 derniers centres complets en permutant des centres individuels entre leurs 2 faces, en appliquant les mêmes principes et le même algorithme que sur un 5x5 (*fig. 7.9*).

Résolution des arêtes complètes

Principe général

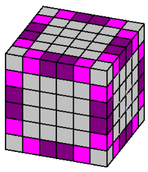


fig. 7.10
arêtes complètes du 6x6

La résolution des arêtes complètes du 6x6 est une généralisation des principes déjà vus sur le 4x4 et le 5x5. Ici, chaque arête complète est constitué de 4 arêtes individuelles (*fig. 7.10*), comptant chacune 2 arêtes individuelles centrales (en violet) et 2 arêtes individuelles latérales (en magenta). Sur un 6x6, chaque arête individuelle centrale comporte une arête individuelle centrale jumelle (partageant les 2 mêmes couleurs) sur le cube, de la même manière que chaque arête individuelle latérale comporte une arête individuelle latérale jumelle.

Pour résoudre une arête complète sur un 6x6, on peut procéder de plusieurs façons mais je vous recommande d'assembler en priorité les 2 arêtes individuelles centrales avant d'ajouter successivement à ce premier assemblage chacune des 2 arêtes individuelles latérales. Ainsi, une arête complète est résolue en réalisant 3 assemblages successifs.

Configuration-type et 1er assemblage

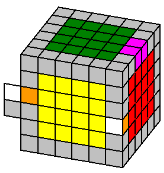


fig. 7.11
configuration-type pour 1er assemblage (variante droite)

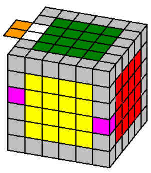


fig. 7.12
1er assemblage réalisé du côté droit

Dans un premier temps, repérer une arête individuelle centrale et chercher son arête individuelle centrale jumelle sur le cube (ici, les 2 arêtes individuelles centrales blanches et orange). En s'inspirant de la configuration-type décrite sur les 4x4 et 5x5 pour préparer un assemblage de 2 arêtes individuelles, manœuvrer les rangées externes du cube pour se placer dans la situation permettant l'assemblage de 2 arêtes individuelles centrales (ici, du côté droit) (*fig. 7.11*).

Après avoir vérifié que les arêtes individuelles centrales de l'arête complète droite de la face supérieure ne sont pas déjà assemblées (en magenta), réaliser l'assemblage des 2 arêtes individuelles centrales (ici, du côté droit, voir résolutions des 4x4 et 5x5) (*fig. 7.12*).

Configuration-type pour 2ème et 3ème assemblages

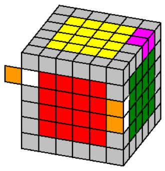


fig. 7.13
configuration-type pour 2ème assemblage (variante droite)

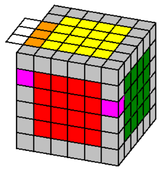


fig. 7.14
2ème assemblage réalisé

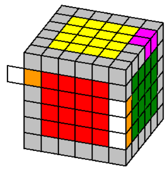


fig. 7.15
configuration-type pour 3ème assemblage (variante droite)

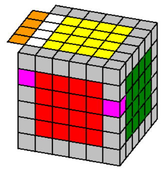


fig. 7.16
3ème assemblage réalisé

Repérer sur le cube laquelle des 2 arêtes individuelles blanches et orange choisir pour se placer dans une nouvelle configuration-type permettant un 2ème assemblage (ici, du côté droit) (*fig. 7.13*). Après avoir vérifié qu'aucun assemblage n'existe entre les 2 arêtes individuelles repérées en magenta dans l'arête complète supérieure droite, réaliser un nouvel assemblage de 3 arêtes individuelles orange et blanches (ici, du côté droit) (*fig. 7.14*).

Repérer ensuite la dernière arête orange et blanche isolée et manœuvrer les rangées du cube pour se replacer dans une configuration-type permettant le dernier assemblage (ici, du côté droit) (*fig. 7.15*). Après vérification de l'état des 2 arêtes individuelles repérées en magenta dans l'arête complète supérieure droite, réaliser l'assemblage des 4 arêtes individuelles orange et blanches (ici, du côté droit) pour terminer la résolution de la première arête complète du cube (*fig. 7.16*).

Résolution des arêtes complètes suivantes

En appliquant les opérations précédentes, on peut résoudre une à une les autres arêtes complètes du 6x6. Au moins 10 des 12 arêtes complètes du cube peuvent être résolues de cette manière.

Cas particulier des 2 dernières arêtes complètes non résolues

Si les 2 dernières arêtes complètes du cube ne sont pas déjà résolues, de nombreux cas de figure sont possibles. Comme au cours de la résolution 4x4 et du 5x5, on va faire appel ici à l'**algorithme du puits** pour permuter des arêtes individuelles entre ces 2 arêtes complètes. Le nombre de pièces étant plus important sur un 6x6, on utilise l'algorithme à plusieurs reprises et dans 2 versions différentes.

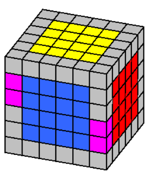


fig. 7.17
groupes d'arêtes individuelles permutés par l'algorithme du puits (variante équatoriale)

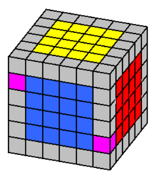


fig. 7.18
arêtes individuelles permutées par l'algorithme du puits (variante supérieure)

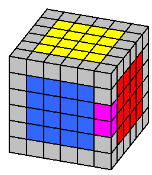
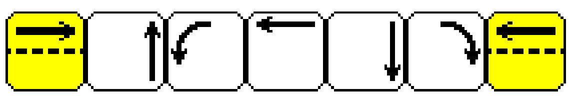


fig. 7.19
arêtes individuelles réorientées par l'algorithme du puits (variante supérieure)

Si l'algorithme du puits est utilisé de la même manière que sur le 4x4, en tournant la **moitié supérieure du cube** au cours de ses première et dernière rotations, la moitié supérieure de l'arête complète gauche permute avec la moitié inférieure de l'arête complète droite sur la face avant (*fig. 7.17*). J'appelle cette version de l'algorithme du puits la **variante équatoriale**.

Si l'algorithme du puits est utilisé en tournant **seulement les 2 rangées supérieures** du 6x6 au cours de ses première et dernière rotations, seule l'arête individuelle supérieure de l'arête complète gauche permute avec l'arête individuelle inférieure de l'arête complète droite (*fig. 7.18*). De plus, par analogie avec la résolution du 5x5, l'orientation des 2 arêtes individuelles centrales de l'arête complète droite est modifiée (*fig. 7.19*). J'appelle cette version de l'algorithme du puits la **variante supérieure**.



U'u' R F' U R' F Uu
algorithme du PUITS

Pour résoudre les 2 dernières arêtes complètes du 6x6, on va réarranger les pièces depuis le milieu de chaque arête complète vers ses extrémités, en appliquant dans un premier temps la variante équatoriale de l'algorithme du puits et enfin sa variante supérieure. La résolution qui suit n'est qu'une des multiples configurations possibles sur le cube et est illustrée à titre d'exemple.

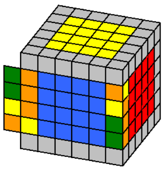


fig. 7.20
2 dernières arêtes complètes mélangées

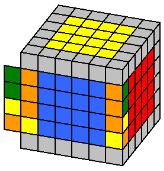


fig. 7.21
arête complète droite retournée

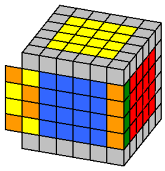


fig. 7.22
après application de l'algorithme du puits

Même si la variante équatoriale de l'**algorithme du puits** permute des groupes d'arêtes individuelles et non 2 arêtes individuelles isolées, on ne considère dans un premier temps que les arêtes individuelles centrales de chaque côté du cube. Ici, on constate que dans chaque arête complète, la zone centrale est occupée par 2 arêtes individuelles différentes (l'une orange et jaune et l'autre orange et verte). On va donc chercher à regrouper ces arêtes individuelles centrales par couleur.

Sachant que l'**algorithme du puits** permute des arêtes (ou des groupe d'arêtes) en diagonale, on doit s'assurer que cette permutation est utile pour la résolution. Dans la configuration initiale (*fig. 7.18*), appliquer l'algorithme dans sa version équatoriale reviendrait à permuter (entre autres) une arête individuelle centrale orange et verte (en position supérieure du côté gauche) avec une autre arête individuelle centrale orange et verte (en position inférieure du côté droit). Cette permutation n'ayant pas d'intérêt pour la résolution du cube, on commence par retourner l'arête complète de droite (voir les résolutions des 4x4 et 5x5) (*fig. 7.21*).

Cette fois, appliquer l'**algorithme du puits** dans sa variante équatoriale permet de regrouper 2 arêtes individuelles centrales orange et jaune du côté gauche et 2 arêtes individuelles centrales orange et vertes du côté droit (*fig. 7.22*). On remarque également que cette opération a permis de regrouper toutes les arêtes individuelles orange et jaune dans l'arête complète gauche et toutes les arêtes individuelles orange et vertes dans l'arête complète droite. Seule cette dernière arête complète est résolue car ses 4 arêtes individuelles ont la même orientation, contrairement à celles de l'arête complète gauche.

N.B. : Dans cet exemple, une seule application de l'algorithme du puits dans sa variante équatoriale a suffi pour regrouper les arêtes individuelles par couleur. La plupart du temps, il sera nécessaire de l'appliquer une seconde fois dans sa variante supérieure (après avoir éventuellement retourné l'arête complète droite au préalable) pour parvenir à ce résultat.

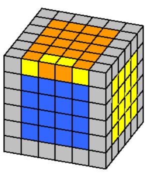


fig. 7.20
dernière arête complète non résolue

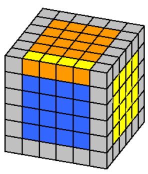


fig. 7.21
dernière arête complète résolue

Pour rétablir l'orientation des arêtes individuelles dans l'arête complète gauche, on réoriente le cube de manière à placer l'arête complète à modifier en position supérieure sur la face avant (*fig. 7.20*) et on applique l'**algorithme de retournement** (voir résolution du 4x4 et du 5x5). Les rangées « gauche » et « droite » utilisées dans l'algorithme sont ici affectées aux rangées internes verticales contenant en particulier les 2 arêtes individuelles latérales de l'arête complète. Une fois l'algorithme terminé, la permutation des 2 arêtes individuelles latérales permet de résoudre la dernière arête complète du 6x6 (*fig. 7.21*).

Fin de la résolution

Principe général

Une fois ses centres complets et ses arêtes complètes résolus, le 6x6 est réduit à l'état d'un cube 3x3 mélangé. On peut alors résoudre sa rangée inférieure et sa zone équatoriale (correspondant à ses 4 rangées horizontales internes réunies) de la même manière mais, du fait de son ordre pair, le 6x6 peut présenter les mêmes cas particuliers qu'un 4x4 au cours de la résolution de sa rangée supérieure.

Résolution de la croix supérieure, de la face supérieure et des coins supérieurs

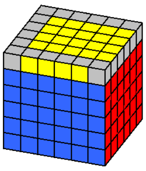


fig. 7.22
croix supérieure à une seule branche

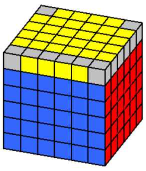


fig. 7.23
croix supérieure à 3 branches

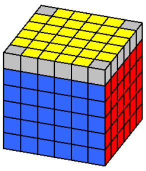


fig. 7.24
croix supérieure résolue

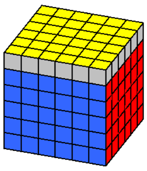


fig. 7.25
face supérieure résolue

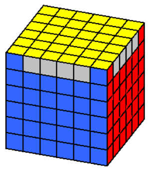


fig. 7.26
coins supérieurs résolus

Si au cours de sa reconstruction (voir la résolution du 3x3), la croix supérieure jaune présente un nombre impair de branches (*fig. 7.23-7.23*), orienter la rangée supérieure de manière à ce que l'une des branches manquantes se trouve du côté avant du cube puis appliquer l'**algorithme de retournement** (voir la résolution du 4x4), en affectant les rangées « gauche » et « droite » intervenant dans l'algorithme respectivement **aux 2 rangées internes verticales gauches** et aux **2 rangées internes verticales droites**.

L'orientation de l'arête complète supérieure avant est alors rétablie et on retrouve une configuration classique du 3x3, avec une croix comportant un nombre pair de branches. On peut alors la résoudre en appliquant l'**algorithme du coffre** (voir résolution du 3x3) (*fig. 7.24*).

Résoudre ensuite la face supérieure (*fig. 7.25*) et les coins supérieurs (*fig. 7.26*) de la même manière que sur le 4x4.

Résolution des arêtes complètes supérieures

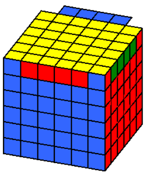


fig. 7.27
arêtes complètes supérieures mélangées (nombre pair de permutations)

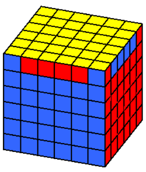


fig. 7.28
arêtes complètes supérieures mélangées (nombre impair de permutations)

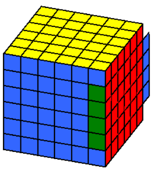


fig. 7.29
arêtes complètes supérieures résolues (nombre impair de permutations)

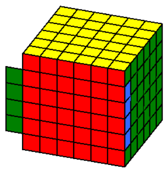
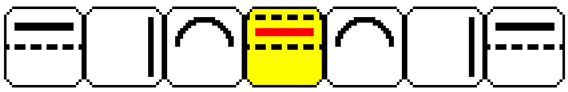


fig. 7.30
cube réorienté avec les 2 dernières arêtes complètes à permuter

La résolution des arêtes supérieures du 6x6 s'effectue de la même manière que celles du 4x4. En particulier, si le nombre nécessaire de permutations d'arêtes à 90° ou 180° pour résoudre la rangée supérieure est pair (*fig. 7.27*), on n'est pas dans un cas particulier et la fin de résolution du 6x6 est identique à celle d'un 3x3.

En revanche, si ce nombre est impair (*fig. 7.28*), il subsistera à la fin de la résolution de la rangée supérieure une permutation des 2 arêtes complètes droites du cube (*fig. 7.29*). Après avoir réorienté le cube pour placer ces arêtes complètes sur la gauche et la droite de la face avant (*fig. 7.30*), appliquer l'**algorithme de la toupie** :



U2u2 R2 F2 u2 F2 R2 U2u2
algorithme de la TOUPIE

N.B. : Dans cette version de l'algorithme appliquée au 6x6 :
- *les première et dernière rotations sont appliquées à la moitié supérieure du cube (ses 3 rangées horizontales supérieures)*
- *la 4ème rotation est appliquée aux 2 rangées internes supérieures du cube*

Bravo ! Vous avez terminé la résolution de votre 6x6 !

Bonus : comment remplacer tous les cubes standards du 2x2 au 5x5 avec un 6x6 ?

Si l'architecture de base du 6x6 en fait un véritable « concentré » dans l'univers des cubes standards (grand cube imposant une réduction à l'état d'un 3x3 mélangé, ordre pair impliquant plusieurs cas particuliers et nombre de rangées permettant plusieurs variantes de ces cas), elle permet également de reproduire le comportement de n'importe quel cube standard du 2x2 au 5x5 et donc éventuellement de ne pas avoir à s'acheter ces modèles pour en profiter !

Pour reproduire le comportement de n'importe quel cube standard d'ordre inférieur à 6, il suffit de restreindre le nombre des rotations « autorisées » du 6x6 au cours de son mélange et de sa résolution.

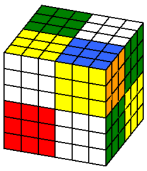


fig. 7.31
6x6 mélangé comme un 2x2

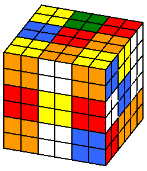


fig. 7.32
6x6 mélangé comme un 3x3

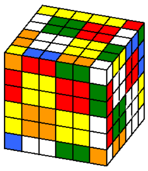


fig. 7.33
6x6 mélangé comme un 4x4

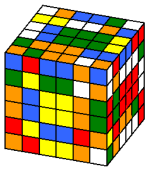


fig. 7.34
6x6 mélangé comme un 5x5

- pour en faire un 2x2 (*fig. 7,31*), n'utiliser que des rotations faisant intervenir une moitié du cube
- pour en faire un 3x3 (*fig. 7,32*), regrouper ses rangées par groupes de 2
- pour en faire un 4x4 (*fig. 7,33*), considérer séparément ses rangées externes et regrouper ses rangées internes par groupes de 2
- pour en faire un 5x5 (*fig. 7,34*), regrouper ses 2 rangées centrales et considérer séparément les autres rangées

8. GENERALISATION DE LA RESOLUTION A UN GRAND CUBE STANDARD D'ORDRE N

Introduction

Si vous avez mis en pratique le contenu de ce guide jusqu'ici, vous maîtrisez maintenant la résolution des cubes standards du 2x2 au 6x6. Bravo, vous avez fait le plus dur ! En effet, les cubes standards d'ordre supérieur ne sont pas plus difficiles à résoudre et ne nécessitent la connaissance d'aucun algorithme supplémentaire. Seul leur nombre de pièces plus important rend leur résolution un peu plus longue.

Les éventuels cas particuliers rencontrés au cours de la résolution dépendant uniquement de la parité du cube (aucun sur les cubes impairs, plusieurs possibles sur les cubes pairs), je ne m'attarderai dans cette partie du guide que sur les phases de la résolution présentant des différences ou des variantes notables en fonction de l'ordre du cube standard.

Résolution des centres complets

Première phase du principe de réduction d'un grand cube à l'état d'un 3x3 mélangé, cette résolution commence par la construction d'assemblages linéaires de centres individuels de même couleur, ces assemblages étant ensuite être rassemblés sur une face du cube pour obtenir un centre complet résolu. On peut résumer cette phase de la résolution en quelques points-clés :

- chaque assemblage linéaire de centres individuels d'un grand cube d'ordre N est de N-2 centres (par exemple, 5 pièces pour un 7x7)
- chaque centre complet d'un grand cube d'ordre N est constitué de N-2 assemblages linéaires de centres individuels
- sur un **grand cube impair** :
  - on construit d'abord l'assemblage de centres individuels passant par le **centre individuel fixe** de la face
  - les couleurs des futures faces résolues sont imposées par celles des 6 centres individuels fixes du cube
- sur un **grand cube** pair :
  - on peut placer les assemblages de centres individuels d'une face dans n'importe ordre chronologique
  - on doit connaître le **thème de couleurs standard** pour affecter correctement une couleur à une face
- les 4 premiers centres complets sont résolus par la réunion d'**assemblages linéaires de centre individuels**
- les 2 derniers centres complets sont résolus simultanément par **permutation de centres individuels** entre les faces correspondantes

Résolution des arêtes complètes

Dernière phase du principe de réduction d'un grand cube à l'état d'un 3x3 mélangé, cette résolution consiste à assembler par couleur et avec la même orientation plusieurs arêtes individuelles pour obtenir des arêtes complètes résolues. En bref :

- pour la résolution des 10 premières arêtes complètes, chaque assemblage successif d'arêtes individuelles de mêmes couleurs implique une séparation de 2 autres arêtes individuelles mitoyennes du cube et donc la vérification préalable que d'autres assemblages ne sont pas détruits au cours de l'opération
- pour la résolution des 2 dernières arêtes complètes, les arêtes individuelles sont d'abord rassemblées par couleur à l'aide de l'**algorithme du puits** sans prise en compte de leur orientation (permutations en diagonale en commençant par le centre d'une arête complète puis en se décalant par étapes jusqu'à ses extrémités) puis réorientées au cas par cas à l'aide de l'**algorithme de retournement**.

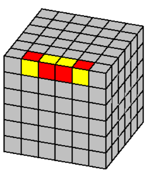


fig. 8.01
cas d'arêtes individuelles mal orientées sur un 6x6

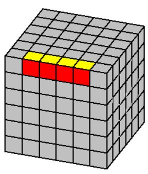


fig. 8.02
arêtes individuelles latérales réorientées

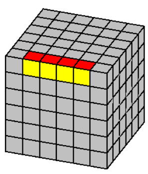


fig. 8.03
arêtes individuelles centrales réorientées

Sur un **cube standard pair**, il n'est pas possible à ce stade de la résolution de déterminer quelle est l'orientation correcte d'une arête complète. Dans cet exemple d'une arête complète de 6x6 présentant des orientations d'arêtes individuelles différentes (*fig. 8.01*), on peut utiliser l'**algorithme de retournement** de 2 manières différentes :

- pour modifier l'orientation des 2 arêtes individuelles latérales (*fig. 8.02*)
- pour modifier l'orientation des 2 arêtes individuelles centrales (*fig. 8.03*)

Dans les 2 cas, les rotations « gauche » et « droite » utilisées dans l'algorithme sont affectées aux **rangées internes verticales comprenant les**

arêtes individuelles à réorienter.

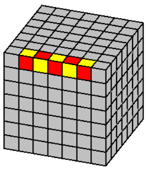


fig. 8.04
cas de 2 arêtes individuelles latérales de rang 1 mal orientées sur un 7x7

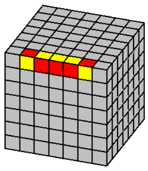


fig. 8.05
cas de 2 arêtes individuelles latérales de rang 2 mal orientées sur un 7x7

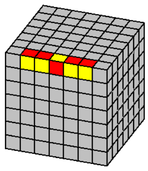


fig. 8.06
cas de 4 arêtes individuelles latérales mal orientées sur un 7x7

Sur un **cube standard impair**, l'orientation correcte d'une arête complète est imposée par **son arête individuelle centrale**. En fonction de l'ordre du cube, de multiples cas peuvent se présenter. En prenant l'exemple d'un 7x7 :

- 2 arêtes individuelles latérales de rang 1 (les plus proches de l'arête individuelle centrale) sont mal orientées (*fig. 8.04*)
- 2 arêtes individuelles latérales de rang 2 (les plus éloignées de l'arête individuelle centrale) sont mal orientées (*fig. 8.05*)
- les 4 arêtes individuelles latérales sont mal orientées (*fig. 8.06*)

Ici aussi, on applique l'**algorithme de retournement** en affectant ses rotations « gauche » et « droite » aux rangées internes verticales comprenant les arêtes individuelles à réorienter :

- si 2 arêtes isolées sont à réorienter, chaque rotation « gauche » ou « droite » de l'algorithme n'est affectée qu'à une seule rangée verticale
- si davantage d'arêtes (4, 6, etc.) sont à réorienter, chaque rotation « gauche » ou « droite » de l'algorithme peut être affectée à plusieurs rangées verticales (mitoyennes ou non) simultanément, du côté correspondant du cube.

Résolution de la rangée inférieure et de la zone équatoriale

Une fois ses centres complets et ses arêtes complètes résolus, un grand cube est réduit à l'état d'un 3x3 mélangé. Les résolutions de sa rangée inférieure et de sa zone équatoriale (ensemble des rangées internes horizontales du cube) sont en tous points similaires à celles de la rangée inférieure et de la rangée équatoriale d'un 3x3.

Résolution de la rangée supérieure

Principe de base

Le déroulement de cette phase de la résolution d'un grand cube dépend directement de son ordre :

- si le cube est **impair**, la résolution de sa rangée supérieure est identique à celle d'un 3x3 et ne fait intervenir que les rangées externes
- si le cube est **pair**, il faut prendre en compte certains cas particuliers possibles à certains stades de la résolution

Construction de la croix supérieure et cas particuliers sur un cube pair

La première étape de la résolution de la rangée supérieure d'un grand cube est la construction d'une croix supérieure jaune. Hormis les cas habituels du 3x3 (croix supérieure à nombre pair de branches), on peut rencontrer les situations suivantes sur un cube pair :

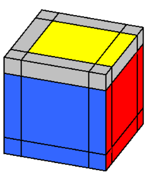


fig. 8.07
croix supérieure à 1 seule branche

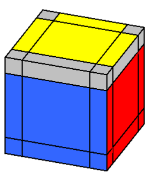


fig. 8.08
croix supérieure à 3 branches

- croix supérieure à une seule branche (*fig. 8.07*)
- croix supérieure à 3 branches (*fig. 8.08*)

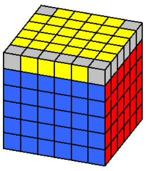


fig. 8.09
arête complète supérieure avant mal orientée

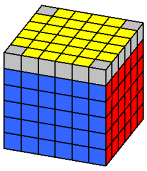


fig. 8.10
arête complète supérieure avant réorientée

Pour obtenir une croix avec un nombre pair de branches, orienter la rangée supérieure pour qu'une des branches manquantes pointe vers la face avant du cube (*fig. 8.09*) puis modifier l'orientation de l'arête complète supérieure avant à l'aide de l'**algorithme de retournement** (*fig. 8.10*). Ainsi, on obtient selon le cas une croix à 2 branches (cas connu du 3x3) ou 4 branches (donc résolue).

Sachant que l'on doit retourner l'arête complète, les rotations « gauche » et « droite » utilisées dans l'algorithme doivent être affectées respectivement à l'**ensemble des rangées internes gauches** du cube et à l'**ensemble de ses rangées internes droites**.

Résolution de la face supérieure et des coins supérieurs

L'étape suivante consiste à résoudre la face supérieure du cube par réorientation de ses coins supérieurs. Quel que soit l'ordre du grand cube, cette résolution est obtenue à l'aide de l'**algorithme de la machine à coudre** à partir d'une orientation initiale du cube dépendant du nombre de ses coins supérieurs correctement orientés.

Une fois la face supérieure entièrement jaune, il reste à permuter les coins supérieurs entre eux en conservant leur orientation. Quel que soit l'ordre du grand cube, l'**algorithme du double ascenseur** permet de permuter les 2 coins supérieurs droits du cube.

Résolution des arêtes supérieures du cube et cas particuliers sur un cube pair

Dernière phase de la résolution d'un grand cube, cette étape fait intervenir des permutations d'arêtes complètes à 90° (arête complètes avant et droite) ou à 180° (arêtes complètes avant et arrière), à l'aide de 2 algorithmes spécifiques (voir résolution du 3x3). Chaque fois qu'un de ces 2 algorithmes est utilisé, les arêtes complètes droites de la zone équatoriale du cube sont permutées.

- si le cube est d'**ordre impair**, le nombre de permutations d'arêtes complètes supérieures nécessaire pour résoudre la rangée supérieure du cube est toujours pair, ce qui permet donc de rétablir les positions des arêtes complètes droites et donc de terminer la résolution du cube
- si le cube est d'**ordre pair**, il est possible que le nombre de permutations d'arêtes complètes supérieures nécessaire pour résoudre la rangée supérieure du cube soit impair, ce qui laisse les arêtes complètes droites du cube permutées une fois la rangée supérieure résolue

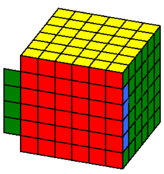


fig. 8.11
arêtes complètes gauche et droite à permuter

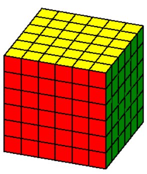
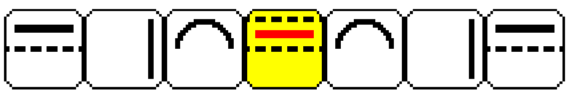


fig. 8.12
arêtes complètes gauche et droite permutées

Dans ce dernier cas, on réoriente le cube de manière à disposer les 2 dernières arêtes complètes permutées à gauche et à droite sur la face avant (*fig. 8.10*) puis on applique l'**algorithme de la toupie**. Les 2 arêtes complètes permutent et le cube est résolu (*fig. 8.11*).



U2u2 R2 F2 u2 F2 R2 U2u2
algorithme de la TOUPIE

N.B. : Dans cette version généralisée de l'algorithme :
- *les première et dernière rotations sont appliquées à la moitié supérieure du cube*

- *la 4ème rotation est appliquée aux seules rangées internes supérieures du cube*

Félicitations ! Vous savez à présent résoudre n'importe quel cube standard !

Bonus : pour aller plus loin !

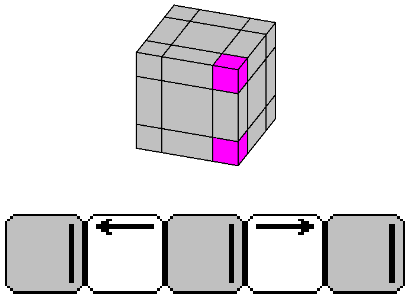
Au début de ce guide, j'évoquais ma volonté de limiter au minimum le nombre d'éléments à mémoriser pour résoudre n'importe quel cube standard et en particulier d'utiliser aussi souvent que possible des algorithmes directement transposables à d'autres types de casse-tête.

Maintenant que les cubes standards n'ont plus de secret pour vous, vous serez sans doute heureux d'apprendre que j'envisage de créer des guides similaires pour d'autres familles de casse-têtes articulés. Le présent document constituerait dès lors une base de résolution solide à laquelle je pourrais faire fréquemment référence.

Avis aux amateurs et à bientôt !

ANNEXE : ALGORITHMES UTILISES POUR LA RESOLUTION DES CUBES STANDARDS

Algorithme de l'ascenseur (permutation des coins avant-droits)

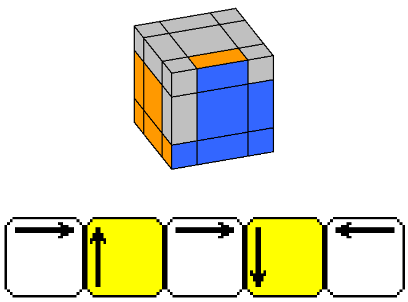


ALGORITHME DE L'ASCENSEUR
R2 U R2 U' R2

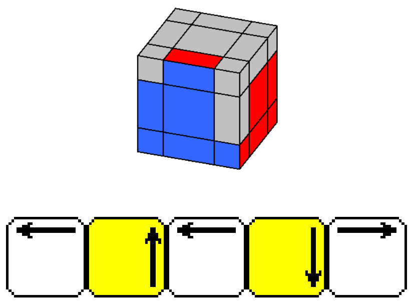
Le rôle de cet algorithme, applicable quel que soit l'ordre du cube standard, est de permuter les 2 coins avant-droits de ses rangées supérieure et inférieure. Aucune autre pièce de la rangée inférieure n'est affectée par l'algorithme, contrairement à celles de la rangée supérieure et de sa zone équatoriale (si le cube en possède une). Les 2 coins sont retournés après application de l'algorithme (la facette supérieure de l'un devient la facette inférieure de l'autre et vice-versa).

Le nom que j'ai choisi pour cet algorithme fait référence à l'échange vertical de positions entre les 2 coins avant-droits sur le cube, une analogie avec une cabine d'ascenseur desservant 2 étages.

Algorithme du pêcheur (mise en place des arêtes équatoriales)



U' L' U' L U
ALGORITHME DU PECHEUR
(variante GAUCHE)



U R U R' U'
ALGORITHME DU PECHEUR
(variante DROITE)

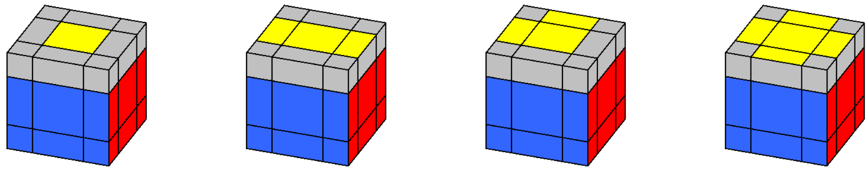
Le rôle de cet algorithme, applicable quel que soit l'ordre du cube standard, est de préparer la mise en place d'une arête équatoriale (individuelle ou complète) sur le cube. Il existe en 2 variantes (gauche ou droite) selon le côté de la face avant où l'arête supérieure avant du cube doit être déplacée pour devenir une arête équatoriale. En pratique, cet algorithme assemble l'arête équatoriale à mettre en place et le coin inférieur du côté correspondant du cube. Les 2 pièces sont ensuite amenées ensemble à leur emplacement final par quelques rotations supplémentaires (insertion simple du côté gauche ou droit, voir résolution du 3x3).

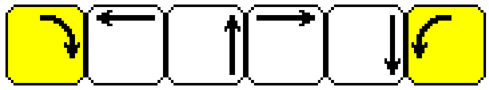
Le nom que j'ai choisi pour cet algorithme vient d'une analogie qu'on peut faire entre certaines rangées du cube, un pêcheur et un poisson. En particulier :

- le côté où est installé le pêcheur (gauche ou droit) correspond à celui où l'arête équatoriale doit être insérée
- la rangée gauche ou droite du cube (selon le cas) est assimilée au poisson, qui peut monter à la surface ou redescendre vers le fond
- la rangée supérieure du cube est assimilée au pêcheur, qui peut se déplacer vers la gauche ou vers la droite

Le pêcheur, voyant qu'il n'attrape pas de poisson, s'éloigne un instant de sa canne à pêche (1er mouvement de la rangée supérieure à l'opposé du côté où mettre en place l'arête équatoriale). Le poisson remonte pour attraper le vers (mouvement vers le haut de la rangée gauche ou droite). Le pêcheur ne s'en rend pas compte et s'éloigne un peu plus (même mouvement de la rangée supérieure). Le poisson ayant mordu à l'hameçon repart vers le fond (mouvement vers le bas de la rangée gauche ou droite). Le pêcheur alerté revient en courant vers sa canne à pêche (mouvement de la rangée supérieure du côté où mettre en place l'arête équatoriale).

Algorithme du coffre (construction de la croix supérieure)





F U R U' R' F'
algorithme du COFFRE

Le rôle de cet algorithme, applicable quel que soit l'ordre du cube standard, est de construire une croix sur la face supérieure du cube (1ère étape de la résolution de la rangée supérieure). Cette croix est obtenue par étapes en répétant l'algorithme, à partir d'une orientation préalable du cube dépendant du nombre de branches de la croix visibles sur sa face supérieure.

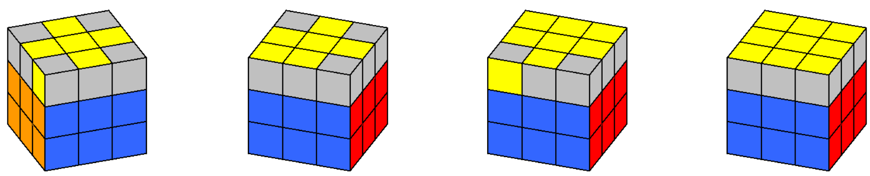
- si la croix n'a **aucune branche** visible, l'orientation initiale de la rangée supérieure est sans importance
- si la croix comporte **2 branches alignées**, orienter la rangée supérieure pour disposer ces branches vers la **gauche** et la **droite**
- si la croix comporte **2 branches à 90°**, orienter la rangée supérieure pour disposer ces branches vers la **gauche** et l'**arrière**
- si la croix est **complète**, poursuivre la résolution à l'aide de l'**algorithme de la machine à coudre**

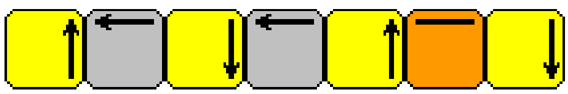
Dans les exemples illustrés ci-dessus, la croix présente un nombre pair de branches. Sur les cubes pairs, ce nombre peut être impair et l'**algorithme de retournement** doit alors être utilisé pour se ramener à l'un des cas ci-dessus.

Le nom que j'ai choisi pour cet algorithme vient d'une analogie entre la rangée avant du cube et une porte de coffre-fort et le besoin d'une combinaison pour verrouiller cette porte.

- le premier mouvement sur le cube est une **rotation horaire de sa rangée avant** (fermeture du coffre)
- on applique ensuite au coin supérieur avant droit du cube et ses remplaçants successifs une « combinaison » de 4 directions dans le sens horaire (**gauche, puis haut, bas et droite**)
- le dernier mouvement sur le cube est une **rotation anti-horaire de sa rangée avant** (tentative d'ouverture du coffre)

Algorithme de la machine à coudre (résolution de la face supérieure)





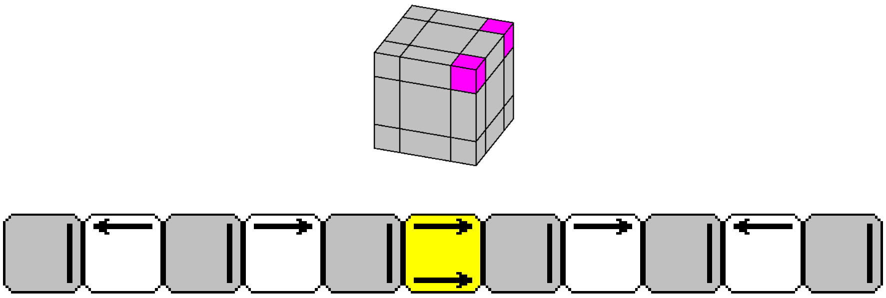
R U R' U R U2 R'
algorithme de la MACHINE A COUDRE

Le rôle de cet algorithme, applicable quel que soit l'ordre du cube standard, est de terminer la résolution de la face supérieure du cube par permutation et réorientation des coins supérieurs pour compléter la croix supérieure une fois celle-ci entière.

Le nom que j'ai choisi pour cet algorithme vient d'une analogie qu'on peut faire entre certaines rangées du cube, une aiguille de machine à coudre et sa bobine de fil. En particulier :

- la **rangée droite** est assimilée à l'**aiguille** qui monte et descend alternativement (avec un premier mouvement vers le haut)
- la **rangée supérieure** est assimilée à la **bobine** de fil sur la machine à coudre, qui se déroule toujours dans le même sens (vers la gauche, avec une exception pour la dernière rotation qui décrit un demi-tour) et dont les rotations sont intercalées avec les précédentes

Algorithme du double ascenseur (permutation des coins supérieurs droits)

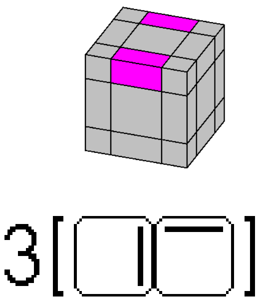


(R2 U R2 U’ R2) U’ D (R2 U’ R2 U R2) D’
algorithme du DOUBLE ASCENSEUR

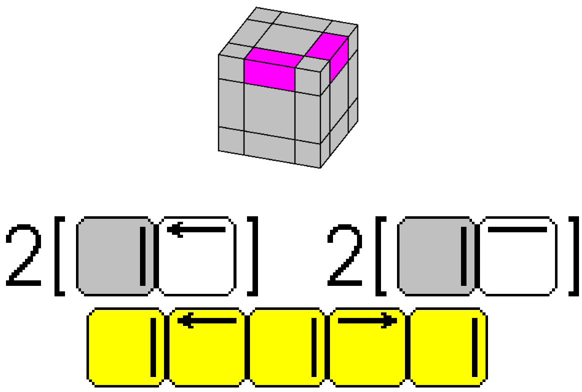
Le rôle de cet algorithme, applicable quel que soit l’ordre du cube standard, est de permuter les 2 coins supérieurs droits du cube pour établir une correspondance de couleur entre eux, une fois la face supérieure résolue. Appliqué une ou 2 fois selon la situation, il permet de permuter les 4 coins supérieurs entre eux sans modifier leur orientation.

Le nom que j’ai choisi pour cet algorithme est en lien avec l’algorithme de l’ascenseur, qui est repris intégralement dans les 5 premières rotations. La fin de l’algorithme adopte une forme similaire mais en inversant le sens des rotations de la rangée supérieure. Entre ces 2 enchaînements, les rangées supérieure et inférieure du cube sont tournées ensemble vers la droite (dans le cas d’un cube 2x2, cela revient à faire tourner l’ensemble du cube vers la droite).

Algorithmes de permutation des arêtes supérieures (à 180 ou 90°)



(R2 U2)3
algorithme de permutation de 2 arêtes supérieures à 180°



(R2 U)2 (R2 U2)2 (R2 U R2 U’ R2)
algorithme de permutation de 2 arêtes supérieures à 90°

Le rôle de ces algorithmes, applicables quel que soit l’ordre du cube standard est de permuter 2 arêtes (individuelles ou complètes) supérieures du cube sans modifier leur orientation :

- les arêtes **avant** et **arrière** dans le cas d’une permutation à 180°
- les arêtes **avant** et **droite** dans le cas d’une permutation à 90°

On les utilise au cours de la dernière phase de résolution du cube, une fois sa face supérieure et ses coins supérieurs résolus. Je n’ai pas utilisé ici de représentation imagée pour ces algorithmes étant donné leur forme facile à retenir :

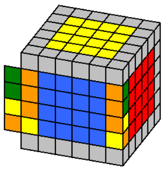
- dans le cas d’une permutation à 180°, 2 rotations d’un demi-tour répétées 3 fois
- dans le cas d’une permutation à 90°, 2 séquences courtes répétées 2 fois chacune et suivies de l’**algorithme de l’ascenseur**

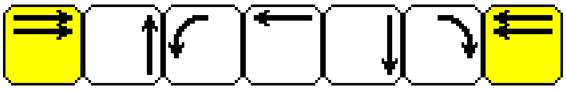
A noter qu’à chaque utilisation de cet algorithme, les 2 arêtes (individuelles ou complètes) équatoriales droites du cube sont également permutées. Pour retrouver un état résolu de cette zone équatoriale, il est donc nécessaire d’appliquer l’un ou l’autre de ces 2 algorithmes un nombre pair de fois. C’est systématiquement le cas pour un cube standard d’ordre impair (en particulier le 3x3) mais un cas particulier peut se présenter dans le cas d’un cube standard pair : si le nombre de permutations d’arêtes nécessaires est impair, le cube comporte encore 2 arêtes droites permutées dans sa zone équatoriale une fois sa rangée supérieure résolue. L’**algorithme de la toupie** sera alors nécessaire pour traiter ces cas.

Algorithme du puits (permutation diagonale d'extrémités d'arêtes complètes)

Le rôle de cet algorithme, applicable uniquement à un **grand cube**, est de permuter en diagonale les extrémités de 2 arêtes complètes du cube placées sur les côtés gauche et droit de la face avant d'un cube (plus précisément, l'extrémité supérieure de l'arête complète gauche et l'extrémité inférieure de l'arête droite).

Il est utilisé en pratique pour résoudre les 2 dernières arêtes complètes sur un grand cube, en ramenant dans la même arête complète toutes les arêtes individuelles portant les 2 mêmes couleurs.





U'u' R F' U R' F Uu
algorithme du PUITS

En pratique, les première et dernière rotations de l'algorithme incluent la rangée externe supérieure du cube et autant de rangées internes supérieures que d'arêtes individuelles à permuter dans la moitié supérieure de l'arête complète gauche (ici, 2 pour inclure les 2 arêtes individuelles orange et vertes du haut sur le côté gauche, à permuter avec les 2 arêtes individuelles jaunes et orange du bas sur le côté droit).

Le nom que j'ai choisi pour cet algorithme vient d'une analogie qu'on peut faire entre certaines rangées du cube et les éléments d'un puits. En particulier :

- la rangée **externe droite** est assimilée à la **corde** du puits (reliée à un seau)
- la rangée **externe avant** est assimilée à la **poulie** du puits

Après la première rotation, on remonte le seau du puits (la rangée externe droite « monte ») ce qui implique une rotation de sa poulie (la rangée externe avant est tournée dans le sens anti-horaire). La corde est ensuite déviée à l'horizontale (la rangée externe supérieure est tournée « vers la gauche »). Enfin, on redescend le seau dans le puits (la rangée externe droite « redescend ») en manœuvrant la poulie dans l'autre sens (la rangée externe avant est tournée dans le sens horaire) et on termine l'algorithme en inversant le sens de la première rotation.

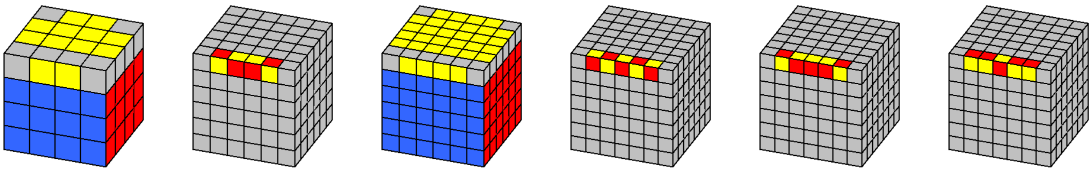
Sur un cube pair d'ordre 6 ou supérieur, on aura souvent à utiliser plusieurs fois cet algorithme pour résoudre les 2 dernières arêtes complètes. En particulier, on permutera **en priorité leurs extrémités les plus longues** pour reconstruire les arêtes complètes à partir de leurs milieux, puis on progressera étape par étape vers l'extérieur en **permutant des extrémités de plus en plus courtes**.

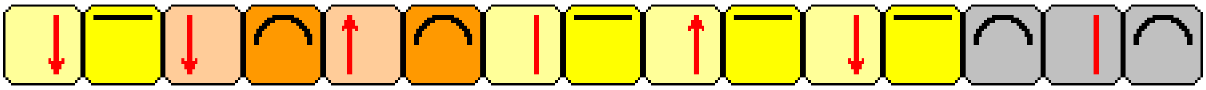
A noter que si les extrémités permutées sont plus courtes que la moitié d'une arête complète, la partie « centrale » aura une orientation inversée après application de l'**algorithme du puits**. On peut ensuite rétablir cette orientation à l'aide de l'**algorithme de retournement** (voir page suivante).

Algorithme de retournement (permutations de couples d'arêtes individuelles dans une arête complète)

Le rôle de cet algorithme, applicable uniquement à un **grand cube** dans certains cas particuliers, est de permuter un ou plusieurs **couples d'arêtes individuelles dans une même arête complète**, si ces arêtes individuelles sont disposées symétriquement par rapport au milieu de l'arête complète. L'objectif final est d'obtenir un **changement d'orientation apparente** de ces arêtes (obtenu en réalité par permutation) pour **uniformiser l'orientation de toutes les arêtes individuelles** dans une arête complète.

Dans le cas d'un grand cube pair, on peut utiliser cet algorithme lors de la construction de la croix supérieure pour inverser l'orientation apparente d'une arête complète correspondant à l'une des branches mal orientées de la croix (en réalité, on permute les arêtes individuelles constituant les 2 moitiés de cette arête complète).





r' U2 l F2 l' F2 r2 U2 r U2 r' U2 F2 r2 F2
algorithme de RETOURNEMENT

Dans tous les cas, l'arête complète à modifier doit occuper la position **supérieure avant** sur le cube et les **rangées internes gauche et droite** figurant dans l'algorithme correspondent à celles **incluant les arêtes individuelles à permuter**.

Pour mémoriser plus facilement ce long algorithme, on peut retenir que :

- chaque rotation de la rangée **interne droite** (la 1ère utilisée dans l'algorithme) est suivie d'un **demi-tour de la rangée supérieure** (en jaune)
- chaque rotation de la rangée **interne gauche** (la 3ème utilisée dans l'algorithme) est suivie d'un **demi-tour de la rangée avant** (en orange)

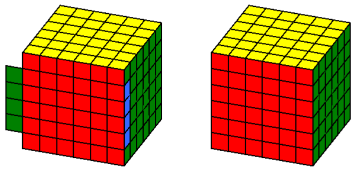
Si on ne considère que les rotations des rangées gauche et droite en début d'algorithme, le premier mouvement est celui de la rangée droite vers le bas et on change ensuite alternativement de côté en ajoutant chaque fois une rotation :

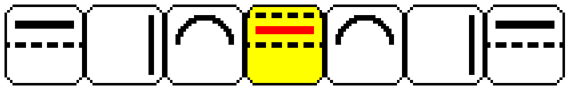
- rangée droite : vers le **bas**
- rangée gauche : vers le **bas** puis vers le **haut**
- rangée droite : **demi-tour**, vers le **haut** puis vers le **bas**

L'algorithme se termine par un demi-tour de la rangée avant, un demi-tour de la rangée interne droite et un nouveau demi-tour de la rangée avant.

Algorithme de la toupie (permutation de 2 arêtes complètes sur un grand cube pair)

Le rôle de cet algorithme, applicable uniquement à un **grand cube pair**, est de permuter 2 arêtes complètes opposées sur une face du cube. Il est parfois nécessaire en fin de résolution quand l'**algorithme de permutation des arêtes supérieures à 180°** ne permet pas de terminer la résolution sans provoquer une autre permutation d'arêtes complètes.





U2u2 R2 F2 u2 F2 R2 U2u2
algorithme de la TOUPIE

Les 2 arêtes complètes à permuter doivent être disposées sur les côtés gauche et droit de la face avant du cube.

Chaque rotation de cet algorithme est un **demi-tour** et le nom que j'ai choisi pour cet algorithme vient d'une analogie entre l'oscillation de l'axe d'une toupie en rotation lorsqu'elle commence à perdre son équilibre. En pratique, hormis la rotation centrale de l'algorithme qui comprend l'ensemble des rangées internes supérieures du cube, on peut retenir que :

- les axes des **3 premières rotations** correspondent chronologiquement aux faces **supérieure**, **droite** et **avant** (sens horaire)
- les axes des **3 dernières rotations** se succèdent dans l'**ordre inverse** (sens anti-horaire)

A noter que les première et dernière rotations comprennent la **moitié supérieure** du cube et non sa seule rangée externe supérieure.

REMERCIEMENTS

Je tenais à remercier ici quelques internautes sans qui je n'aurais pas pu réaliser ce guide. Chacun possède une chaîne sur le site YouTube et leurs vidéos d'aide à la résolution m'ont été d'un grand secours quand je me suis replongé dans le monde des casse-tête cubiques articulés au cours des années 2010.

Rob's World
Sa chaîne YouTube est la première que j'ai parcourue en détail pour apprendre et maîtriser les bases de la résolution de cubes standards, du 3x3 jusqu'au 6x6.

SuperAntoniovivaldi
Il est ma principale inspiration pour la résolution de nombreuses familles de casse-tête articulés. Son approche pédagogique et ses explications particulièrement détaillées ont comblé ma curiosité en termes de techniques et de stratégies de résolution. C'est à partir de ses vidéos que j'ai eu envie de proposer une méthode de résolution imagée, avec pour objectifs de réduire au minimum les connaissances nécessaires à la résolution d'un cube standard et de privilégier l'usage d'algorithmes transposables à d'autres familles de casse-tête.