

# **Techniques d'optimisation des temps de chargements dans les jeux à monde ouvert**

## **Ou comment réduire les temps de chargement**

CHRISTIAN NGO & JONATHAN MULLER  
*ESGI - 5ème année IJV*  
13 janvier 2014

### **Résumé**

Dans ce mémoire nous verrons comment réduire les temps de chargement des jeux vidéos en se basant à la fois sur les composants de la plate-forme cible, sur les techniques de compression, sur l'algorithme et sur le level design.

*Mots clefs* : chargement , optimisation , ressources , streaming , jeu

## **1 Introduction**

Les jeux vidéos comportent année après année un nombre grandissant de ressources nécessaires pour leur fonctionnement. Des textures aux modèles 3D, le poids de ces ressources augmente tout comme leur nombre, l'augmentation de la taille mémoire des machines permettant aux créateurs de jeux de charger plus de ressources à la fois. Cependant, augmenter la taille et le nombre des ressources a un prix, celui du temps de chargement. Dans ce mémoire nous verrons comment réduire ces temps de chargement en s'adaptant aux médias qui permettent de stocker les ressources du jeu, en tirant partie des capacités des processeurs, de l'espace disponible et de la mémoire RAM, des différents formats de compression, mais aussi des adaptations de gameplay qui peuvent permettre un chargement transparent pour l'utilisateur.

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>1</b>
1.1	Pourquoi améliorer les temps de chargement . . . . .	4
1.2	Comment les influencer . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Optimisations liées au matériel</b>	<b>6</b>
2.1	Benchmark des différents supports de stockage . . . . .	6
2.1.1	Les CD-ROM . . . . .	6
2.1.2	Lecteur DVD-ROM . . . . .	7
2.1.3	Lecteur BD-ROM . . . . .	8
2.1.4	Le Disque Dur . . . . .	8
2.1.5	Le SSD . . . . .	9
2.2	Multiplier les supports . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Techniques d'optimisation</b>	<b>10</b>
3.1	Généralités . . . . .	10
3.2	Stockage des données . . . . .	11
3.3	Organisation et duplication des fichiers . . . . .	12
3.4	Chargement en tâche de fond . . . . .	13
3.5	Définir des zones . . . . .	14
3.6	Prioriser les chargements . . . . .	15
3.7	Préparer des billboards . . . . .	16
<b>4</b>	<b>Optimisation par compression</b>	<b>17</b>
4.1	Généralités . . . . .	17
4.2	Compression des images . . . . .	19
4.2.1	Compression sans perte . . . . .	19
4.2.2	Compression avec perte . . . . .	20
4.3	Compression des meshes . . . . .	21
4.4	Compression des vidéos . . . . .	22
4.4.1	Prédiction . . . . .	23
4.4.2	Transformation . . . . .	24
4.4.3	Quantification . . . . .	24
4.4.4	Codage entropique . . . . .	24
4.5	Compression des sons . . . . .	26
4.6	Tableau des formats de compression multimédia . . . . .	28
4.7	Compression des textures . . . . .	28
4.7.1	Généralités . . . . .	28
4.7.2	Le format de compression DXT . . . . .	30
4.7.3	Le format de compression 3Dc . . . . .	32
<b>5</b>	<b>Optimisation par le level design</b>	<b>33</b>

5.1	Conception du monde . . . . .	33
5.2	Intégration au monde . . . . .	34
<b>6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>35</b>

## **1.1 Pourquoi avons nous besoin d'améliorer les temps de chargement**

La quantité de mémoire disponible augmente régulièrement sur les postes des utilisateurs, ce qui permet aux concepteurs de jeux de proposer des jeux de plus en plus riches et chargés en éléments graphiques, ce qui demande beaucoup de ressources à créer, stocker, et donc charger. En améliorant les temps de chargement des programmes, nous pouvons faire passer cette quantité de données en mémoire plus rapidement, et donc avoir des jeux qui permettent de jouer rapidement, sans passer de longs instants devant un écran de chargement à plusieurs reprises.

## **1.2 Comment influencer les temps de chargement**

Les temps de chargement peuvent être influencés de différentes manières.

Nous pouvons améliorer les temps de chargement en utilisant des techniques de stockage qui varient en fonction du média sur lequel le jeu est enregistré. Par exemple, les temps d'accès étant plutôt long sur un cd-rom, il faut veiller à limiter le nombre d'accès aux ressources et penser à charger des éléments qui ne seront pas forcément affichés tout de suite, lors des premiers chargements si la mémoire le permet.

Au contraire sur un disque SSD, les temps d'accès étant très bas et la capacité de transfert élevée, on pourra séparer les ressources dans des fichiers différents afin de les charger quasiment à la volée.

Les temps de chargement peuvent également être réduits en utilisant le processeur pour décompresser des ressources : ainsi le temps nécessaire au transfert de la donnée depuis le disque à la mémoire est réduit puisque la donnée est compressée sur le dit disque. Il faut cependant que le mode de compression soit adapté à la puissance du processeur et à la vitesse de transmission du support de stockage.

En modifiant l'algorithme du jeu, nous pouvons aussi influencer sur le chargement des données, en évitant par exemple de stocker plusieurs fois des ressources très similaires. Si nous prenons l'exemple des sprites 2D, nous pouvons stocker l'image de base une fois, puis effectuer toutes les déclinaisons de couleurs de manière algorithmique en modifiant la palette de couleurs. De cette façon, nous n'avons qu'à stocker une texture, puis uniquement des palettes de couleurs.

Enfin, une méthode pour cacher les chargements aux joueurs consiste à construire son level design pour permettre certaines zones "tampons" comme un pont ou un couloir dont le passage est obligatoire pour passer d'une zone à l'autre, et qui va permettre de charger/décharger les zones concernées en tout transparence pour l'utilisateur. Cependant, cette technique est déconseillée puisqu'elle limite la liberté des level-designers en leur imposant des contraintes "techniques".

## 2 Optimisations liées au matériel

### 2.1 Benchmark des différents supports de stockage

Pour mieux comprendre comment organiser nos ressources et la façon de les charger en fonction du support de stockage destiné au jeu, nous devons d'abord étudier et comprendre les deux principaux facteurs des temps de chargement liés au matériel : la vitesse de transfert et le temps d'accès. Le temps d'accès représente le temps écoulé entre le moment où la demande d'accès aux données va être effectuée et le début du transfert de cette donnée. Par exemple sur un disque dur, le temps que celui ci va prendre pour positionner sa tête de lecture, faire tourner le disque à la bonne position et commencer à lire la donnée. Le taux de transfert est le nombre de données qu'il est capable de faire transiter du support de stockage à la mémoire, par seconde.

#### 2.1.1 Les CD-ROM

Les CD-ROM ne sont plus beaucoup utilisés pour les jeux vidéos, qui dépassent maintenant souvent la capacité de stockage de ceux ci (entre 600 et 900Mo). Ils sont remplacés par des supports comme les DVD-ROM ou les Bluray. Cependant, il est intéressant d'étudier ce support de stockage pour une meilleure compréhension de l'évolution des périphériques.

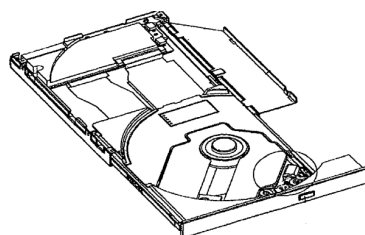


FIGURE 1 – Lecteur CD-ROM

Le CD-ROM a beaucoup été utilisé dans les années 90 et 2000, car le coût de fabrication de ce support est faible et ses capacités de stockage suffisantes, quitte à fournir régulièrement 4 CD-ROM dans les boîtes de jeu.

La vitesse de lecture de ce support est, par contre assez faible et rapidement les jeux ont utilisé ce média pour simplement installer les données sur le disque dur et servir de DRM.

Vitesse de transfert des lecteurs CD-ROM : [1]

Vitesse du lecteur	Taux de transfert (BPS)	Latence (ms)
Single-speed (1x)	153,600	400
Double-speed (2x)	307,200	300
Triple-speed (3x)	460,800	200
Quad-speed (4x)	614,400	150
Six-speed (6x)	921,600	150
Eight-speed (8x)	1,228,800	100
Ten speed (10x)	1,536,000	100
Twelve speed (12x)	1,843,200	100
Sixteen speed (16x)	2,457,600	90
Eighteen speed (18x)	2,764,800	90
Twenty four speed (24x)	3,686,400	90
Thirty two speed (32x)	4,915,200	85
One hundred speed (100x)	15,360,000	80
CAV drives (12x - 24x)	1,843,200 - 3,686,400	150-90

Comme nous pouvons le constater, les temps d'accès du lecteur CD-ROM sont assez élevés. Si nous devons charger 50 petits fichiers sur un lecteur 16x, nous ajoutons inutilement 4 secondes et demi de temps de chargement. Il convient donc d'encapsuler ces 50 fichiers dans un seul, de le charger d'une traite puis de faire la séparation des fichiers en mémoire. C'est pour cette raison que sur les CD-ROMs de jeux nous trouvons souvent que peu de fichiers, mais qui prennent une grande partie de l'espace.

### 2.1.2 Lecteur DVD-ROM

Le DVD-ROM a une vitesse 9 fois supérieure à celle d'un CD-ROM,[2] pour une capacité allant de 4.7Go à 17.08Go (ce dernier étant très rare). Le temps d'accès aux données sur un DVD-ROM est d'environ 100ms pour les plus rapides, ce temps variant en fonction des lecteurs. Nous retrouvons donc avec les DVD-ROM le même problème qu'avec les CD-ROM : le temps d'accès aux données est élevé. Le taux de transfert et la quantité de données qu'il est possible de stocker sur celui-ci en fait cependant un successeur de choix au CD-ROM, améliorant au passage les temps de chargement grâce à sa vitesse de lecture améliorée.

### 2.1.3 Lecteur BD-ROM

Le BD-ROM est capable de transférer les données de 4.5Mo par seconde (x1) à 72Mo par seconde (x16)[3] et peut stocker entre 25Go et 50Go de données. Cela représente 50 fois la vitesse d'un CD-ROM. Bien que ses temps d'accès soient similaires voir plus grands que pour les DVD-ROMs, sa vitesse de transfert lui permet cependant de proposer des temps de chargement plus rapides, les données étant stockées sous forme de flux dans l'ordre d'utilisation comme pour les autres supports sous forme de disque, sa capacité de stockage permet en plus d'alléger le travail du processeur en proposant des données moins compressées.

### 2.1.4 Le Disque Dur

Le disque dur est le support de stockage le plus utilisé sur PC. Présent depuis les années 60 dans les ordinateurs de bureau, il a depuis continué à s'améliorer et à augmenter ses performances de lecture/écriture et ses temps d'accès. Le premier disque dur avait un temps d'accès de 600ms. Dès les années 80, ce temps a été réduit à 20ms et a continué de diminuer depuis.

Il existe 5 vitesses pour les disques durs, qui sont le nombre de rotation effectuées par le disque, par minute. Les vitesses de disque les plus répandues sont celles à 5400 tours/minute et 7200 tours/minute (respectivement 5.55ms et 4.16ms de temps d'accès moyen).[4]

Les taux de transfert des disques à 7200 tours par minute en 2010 sont en moyenne de 125Mo par seconde. Comparé aux supports de stockage au format optique, le disque dur les surpasse tous. Cependant des problèmes peuvent intervenir sur les disques durs comme la corruption de données, ou la perte de vitesse à cause de la fragmentation qui peut intervenir sur certains systèmes de fichiers. Séparer les fichiers sur ce type de disque pour ne pas avoir de chargement sous forme de flux peut donc s'avérer pénalisant sur un disque fortement fragmenté.

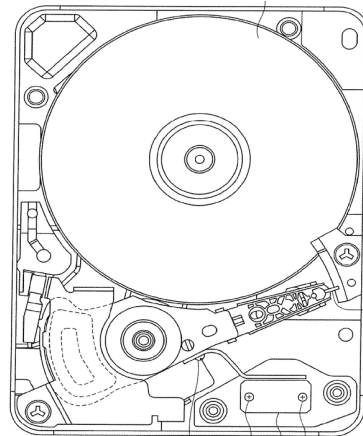


FIGURE 2 – Disque dur



### **2.1.5 Le SSD**

Le SSD est le support de stockage qui remplace peu à peu les disques durs. Ses taux d'accès étant très faibles (en dessous de 0.1ms) et sa capacité de transfert élevée (entre 100 et 550Mo par seconde)[5], il permet d'avoir peu voire pas de chargement visible pour l'utilisateur dans les jeux vidéo.

Les caractéristiques du SSD sont proches de celles des cassettes de jeu vidéo utilisées sur les machines avant l'ère du CD. Ce type de support permet d'avoir des jeux où les chargements sont transparents pour l'utilisateur. De plus, la fragmentation des fichiers n'a aucun effet sur un disque SSD, les données peuvent donc être séparées pour minimiser le chargement de ressources inutiles et permettre un chargement à la volée rapide.

## **2.2 Multiplier les supports**

Si nous avons vu la supériorité des disques durs et SSD par rapport aux supports au format disque, nous pouvons quand même tirer partie du lecteur de disque pour améliorer encore les performances. Ainsi, nous pouvons nous servir du DVD/BD pour installer le jeu sur le disque dur, et garder une partie du disque qui servira lorsque le jeu sera lancé. Cela permettra d'accéder aux données à la fois du disque dur et sur le DVD/BD dans le jeu. C'est cette méthode qui est employée actuellement sur console, profitant du fait qu'elles soient équipées en disque dur pour réduire les temps de chargement.

## 3 Techniques d'optimisation

### 3.1 Généralités

Il existe 3 façons majeures de charger les données nécessaires à un jeu en mémoire.

La première est de charger les données au démarrage du niveau ou du jeu et de les garder en mémoire tout le long du jeu. C'est la meilleure solution pour les ressources qui seront nécessaires à toutes les étapes du jeu, ou pour les ressources critiques du jeu sans lesquelles le jeu ne pourra pas tourner (cela permet de faire une vérification par la même occasion). Puisque ces données seront chargées quoi qu'il arrive, nous pouvons optimiser le temps de chargement en les chargeant dès le menu ou dès l'apparition des sponsors au début du jeu.

La deuxième façon est de charger les données nécessaires en fonction de la position du joueur et de l'orientation de la caméra. Nous pouvons charger les données aux alentours du joueur et des données plus détaillées en fonction de la direction dans laquelle le joueur regarde. Ainsi, ce sont autant de données en moins à charger au lancement du niveau ou du jeu, et cela permet d'éviter des écrans de chargement qui détériorent l'expérience de jeu de l'utilisateur.

La troisième façon est basée sur les événements : par exemple commencer à charger une zone lorsque le joueur sélectionne un objet qui lui permet de s'y téléporter, charger une séquence d'animation quand le joueur parle à un personnage qui va la déclencher, etc.

### 3.2 Stockage des données

Pour améliorer les temps de chargement, les données sont organisées sur les disques en fonction de leurs secteurs et généralement dans un seul fichier d'archive (afin de minimiser les appels aux fonctions open et close du système d'exploitation, qui sont relativement lentes).

Ainsi notre fichier contenant les ressources reste toujours ouvert, et il ne nous reste plus qu'à lire les parties du fichier qui nous intéressent. Il convient donc d'optimiser la partie lecture pour que notre jeu charge le plus vite possible. Pour cela, il faut faire attention à la manière dont sont stockées les données, en l'occurrence leur position vis à vis des secteurs.

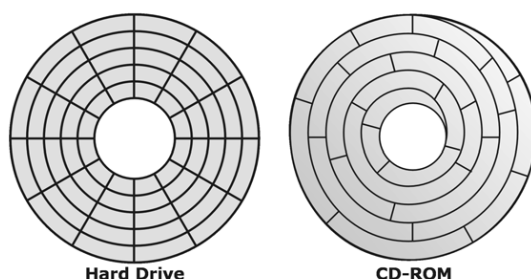


FIGURE 3 – Secteurs d'un disque dur et d'un CD-ROM

Un secteur est un fragment d'un disque qui va contenir les données stockées, un disque est composé de plusieurs secteurs mis les uns à la suite des autres. Lors d'une opération de lecture, la tête de lecture du disque ou le laser pour un disque optique va se positionner en face du secteur, et commencer à lire les données. Le temps de positionnement est le plus long, mais à chaque fois que la tête se déplace pour parcourir un secteur, nous perdons du temps. Une technique pour réduire cette perte est d'aligner les fichiers sur les secteurs (ce qui entraîne une perte d'espace, si le média à un espace limité, il ne sera peut être pas possible de réaliser cette opération) [6].

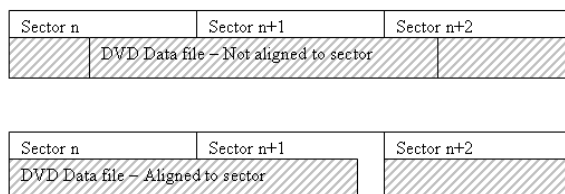


FIGURE 4 – Alignement des données sur les secteurs

### 3.3 Organisation et duplication des fichiers

La technique la plus utilisée dans les jeux à monde ouverts disponibles sur disque optique est la technique du streaming, ou chargement par flux. Les données sont organisées sur le disque de manière à être chargées les unes à la suite des autres pour que le lecteur de disque puisse lire les données sans effectuer un nouveau tour pour se repositionner.

Si nous prenons l'exemple de Just Cause, les données du terrain sont séparées sur le disque sous forme de patch, contenant la heightmap du terrain, les textures et les données du mesh. Compte tenu du fait qu'ils avaient encore de l'espace disponible sur le disque optique, ils ont stocké les données du terrain deux fois : une fois ordonné en x vers z et une fois en z vers x. Ainsi les données peuvent être chargées sous forme de flux en fonction de la direction du joueur [7].

Ainsi nous remarquons qu'une technique d'optimisation de chargement peut passer par la duplication des données pour s'adapter au support de stockage. A partir de ce constat nous pouvons imaginer de nombreuses possibilités pour optimiser le chargement de nos données : fichiers par flux sur le disque optique et fichiers organisés de manière séparée sur le disque dur, en chargeant les données du terrain sur le disque en flux en fonction des déplacements du joueur et celles du disque dur pour les événements aléatoires ou les chargements de ressources contenant beaucoup de données.

Une technique pour constituer les fichiers de flux est de placer des logs dans le code pour voir dans quel ordre les ressources sont chargées, ainsi il suffira de les placer dans le même ordre dans le fichier de flux.

### 3.4 Chargement en tâche de fond

Le chargement des fichiers nécessaires pour mettre en place un jeu de type Open World peut être immédiat comme prendre plusieurs secondes pour être accompli. Ce type de jeu ne présentant normalement pas d'écran de chargement, il ne faut pas que cette tâche soit bloquante pour l'utilisateur du jeu, il faut donc prévoir un chargement en tâche de fond, qui n'altère pas l'expérience de jeu sur la machine utilisée pour jouer.

Pour effectuer ce chargement de la manière la plus fluide possible, l'équipe de Dungeon Siege l'a découpé en 3 étapes distinctes[8] :

D'abord, les informations sur le mesh sont chargées (sans les textures et les animations), puis l'objet 3D est ajouté aux nœuds de la scène une fois chargé. Ensuite, si le mesh est dans le frustrum du joueur, la texture est chargée et appliquée à l'objet 3D. Ainsi ils économisent le chargement de la texture dans le cas où l'objet 3D ne sera jamais rendu à l'écran.

Notons tout de même qu'en cas de déplacement brusque ou de nombreux objets à afficher, il se peut que le joueur aperçoive un court instant des objets 3D sans texture. Pour améliorer cela, nous pouvons charger les textures en fonction de l'espace mémoire disponible pour les objets proches du joueur, qu'ils soient dans le frustrum ou non.

Ce découpage permet d'annuler le chargement en cours de route si le joueur décide de changer de direction ou passe trop vite pour que l'objet soit dans son champ de vision.

Le chargement en tâche de fond prend aussi des ressources processeur, utilisée par le jeu en tâche principale et ce à cause notamment de la compression des fichiers (voir section Optimisation par compression). Il convient donc de limiter cet usage pour laisser au jeu le plus possible de capacité de calcul pour que le chargement ne fasse pas chuter les taux de rafraîchissement.

### 3.5 Définir des zones

Pour permettre un jeu fluide et éviter les écrans de chargements, il convient d'anticiper les déplacements du joueur et de connaître les zones qu'il peut potentiellement visiter. Ainsi, il est utile de connaître la zone dans laquelle est placé le joueur ainsi que les zones qui l'entourent. Lorsqu'un joueur visitera une zone, les zones d'à côté seront chargées en tâche de fond et celles qui sont éloignées seront déchargées ou gardées uniquement sous forme simplifiée.

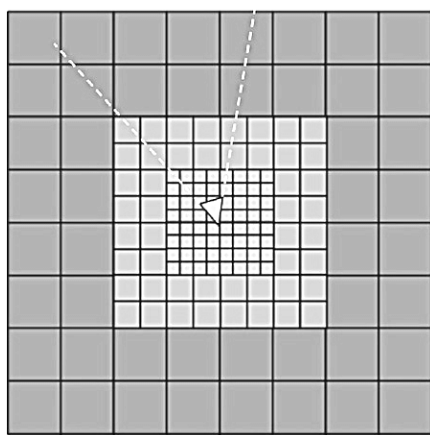


FIGURE 5 – Système de patch

La figure ci contre représente un système de patch sous forme d'arbre avec plusieurs niveaux de détail. Au centre, les patch sont détaillés et découpés en petites zones et sont chargés avec tout leur contenu en mémoire. Les cellules moyennes qui sont plus éloignées du joueur, sont elles chargées de manière incomplète (seul les données importantes au rendu à moyenne distance : données terrain, textures, habitations, arbres, etc.). Les patch plus gros sont eux chargés grossièrement, pour avoir un rendu simpliste nécessitant peu de ressources. Ainsi

en fonction du déplacement du joueur, les zones autour de lui vont changer en suivant la même direction pour passer en mode détaillé, moyen ou léger. Un problème peut survenir dans le cas où le joueur se déplace de manière rapide. Dans ce cas, seul les zones contenues dans le frustrum pourront passer en détaillé, tandis que les celles derrière le véhicule et sur les côtés pourront passer plus rapidement en mode léger.

Un second problème se pose dans le cas ou un déplacement instantané peut survenir (téléportation). Pour résoudre en partie ce problème, il convient de trouver les zones dans lesquelles le joueur va pouvoir se téléporter et de les charger en mode moyen à l'avance si l'espace mémoire le permet, même si elles ne sont pas voisines. Ainsi le joueur pourra être téléporté et la zone finira de charger du mode moyen au mode détaillé en cours de route. Ce processus peut intervenir à proximité d'un portail de téléportation, ou lorsque le joueur est dans son inventaire et possède des objets qui lui permettent de se téléporter.

### 3.6 Prioriser les chargements

Une technique pour rendre les chargements le plus discret possible serait de définir un ordre de priorité pour les ressources et objets à afficher.

Par exemple, nous pouvons retarder le chargement et l'apparition d'un objet qui n'a qu'une utilité esthétique dans notre jeu ou notre scène. Les objets à charger en premier lieu sont ceux avec lequel le joueur peut entrer en interaction (levier, bouton sur lequel le joueur doit appuyer, porte, etc.) pour qu'il puisse continuer à avancer sans avoir à attendre que les objets apparaissent ou qu'il ne se retrouve pas bloqué sans comprendre ce qu'il se passe. Les murs et le terrain, même s'ils ne sont pas des objets interactifs doivent être chargés également car sans eux le joueur se déplacerait dans le vide et n'aurait aucun moyen de se repérer dans l'espace.

Les objets à charger en suite sont les NPC, ou personnages non joueur : un animal dans le décor que le joueur peut tuer pour récolter des ressources, ou un personnage donneur de quête par exemple. Ceux-ci ne sont pas critiques pour l'avancée du joueur et souvent nécessitent un certain nombre de ressources (modélisation, sons et animations) ainsi il convient de les charger en second lieu.

Viennent en dernier lieu les objets de décoration, la végétation, et les sons. Cela ne pose pas de problème de permettre au joueur d'avancer avant d'entendre ses bruits de pas par exemple. Avoir différentes textures de fleur pour un sol en plein air n'est pas important pour le joueur, tout comme des tuyaux qui viendraient joncher un couloir. Les charger en dernier permet d'avoir un affichage rapide des niveaux et de réduire au maximum les temps d'attente du joueur.

### 3.7 Préparer des billboards

Les billboards sont les textures qui remplacent les objets 3D au loin dans les jeux, pas exemple les arbres. Ils font toujours face à la caméra du joueur et sont généralement rafraichies que lorsque le joueur se déplace d'une certaine distance par rapport à sa position de base lorsque le billboard a été calculé la première fois.



FIGURE 6 – Billboards dans Battlefield 3 (arbres au loin)

Nous pouvons nous inspirer de cette technique pour améliorer les temps de chargement, en préparant au préalable des billboards pour certains objets 3D non prioritaires qui seront alors chargés en premier lieu sous la forme de billboards. Si nous prenons l'exemple d'un joueur qui entre dans une maison et se dirige à proximité de la cuisine, nous pouvons lui afficher les tasses et couverts qui sont posés sur la table sous la forme d'un billboard, et si le joueur s'attarde dans cette même cuisine ou si le CPU le permet et qu'il n'y a pas d'autres objets plus prioritaires à charger dans la queue, nous chargeons le vrai objet 3D.



### 3.8 Utiliser du LOD

Le LOD signifie Level of Detail et est une technique qui permet d'améliorer les performances graphiques en fonction de la distance des objets. Ainsi les objets qui sont situés le plus loin sont affichés de manière rudimentaire, avec des textures légères et très peu de polygones et d'animation.

Nous pouvons nous servir de cette technique pour améliorer les chargements, en ne chargeant au départ que les ressources qui sont en format léger, et charger les versions complètes des objets une fois dans le jeu si l'utilisation du processeur le permet. Cette technique ressemble à celle des zones décrit plus haut, qui consiste à charger des versions légères en fonction de la distance des objets par rapport aux joueurs.

Cependant ici nous chargeons même les zones à proximité du joueur en mode léger, dès le départ afin de réduire le plus possible le premier écran de chargement. Ceci est une technique acceptable pour certains types de jeu où le décor ne joue pas un rôle important. Cependant si nous souhaitons mettre l'accent sur les graphismes ou si nous ne voulons pas que le joueur ressente ce chargement qui peut être plus ou moins long et plus ou moins dérangeant selon les sensibilités, il faudra éliminer cette possibilité.

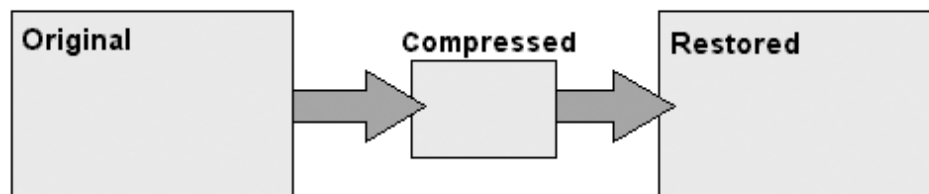
## 4 Optimisation par compression

### 4.1 Généralités

La compression de données regroupe un ensemble de techniques permettant de réduire considérablement le volume de données avec ou sans perte d'information. On utilise généralement des algorithmes qui permettent de compresser les données. Si l'algorithme utilisé est sans perte, la totalité des données compressées est récupérée lors de la décompression tandis que si l'algorithme est avec perte, seule une partie des données originales est récupérée (on essaie alors de garder les informations pertinentes). La perte reste minimale en fonction des algorithmes utilisés ce qui rend la reconstruction de l'information raisonnable et satisfaisante.

From Computer Desktop Encyclopedia  
© 1998 The Computer Language Co., Inc.

#### LOSSLESS



#### LOSSY

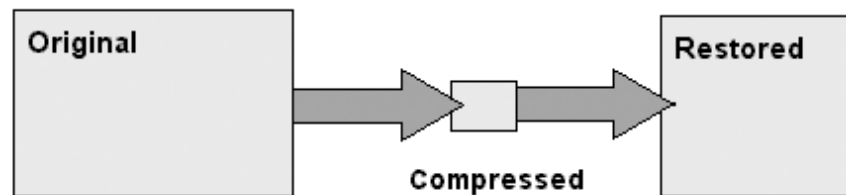


FIGURE 7 – Compression des données avec et sans perte

Un fichier compressé prend moins de place sur un support de stockage qu'un fichier non compressé, cela permet de réduire le temps de passage d'un fichier du support de stockage à la mémoire de l'ordinateur ou de la carte graphique. Autrement dit le volume de la donnée compressée est plus petit, de même le temps des transferts est réduit. Puisque la taille des données contenues dans les jeux est parfois très grande, il serait impensable de les stocker sur le support de stockage sans les compresser au préalable. De plus en plus, la compression devient quasiment indispensable pour

stocker la totalité d'un jeu. En effet, même si la capacité et les performances des différents composants des ordinateurs ou des consoles évoluent d'année en année, le volume des données est tellement grand que nos machines ne parviennent pas toujours à gérer une quantité aussi grande d'information.

Dans les jeux vidéo de nombreux éléments sont utilisés et doivent être stockés (images, sons, objets 3D, etc.). De nos jours, la totalité des données d'un jeu peut être contenue sur un disque et il s'agit très souvent de données compressées qui doivent être décompressées lors de leur chargement en cours de jeu.

Étant donnée la diversité des éléments qui composent un jeu, plusieurs techniques spécifiques sont parfois nécessaires pour compresser et décompresser tel ou tel type de fichier. Ainsi les images, les vidéos et les sons ne seront pas forcément traités de la même manière. Ces éléments sont souvent très volumineux et le but est de parvenir à les compresser au maximum pour atteindre une vitesse de transfert satisfaisante tout en conservant un niveau de qualité le plus élevé possible.

Les données des images et des vidéos sont mesurées par un nombre d'unité binaire (bits), c'est pourquoi on parle de vitesse de transfert de bits (bit rate) comme étant le paramètre principal lors de la compression de données.

## 4.2 Compression des images

Les images sont très utilisées et en grande quantité dans les jeux vidéo. C'est pourquoi la compression joue un rôle très important. Ils existent plusieurs algorithmes de compression qui permettent de compresser les images. Bien entendu, certaines méthodes seront plus adaptées pour un type d'image particulier que pour un autre.

Voici les différents types d'images et leurs caractéristiques :

Format	Nom	Caractéristique
BMP	Windows bitmap	Format non compressé
TIFF	Tagged Image File Format	Sans perte
PNG	Portable Network Graphics	Sans perte, amélioration du format GIF. Basé sur l'algorithme de compression Deflate
JPEG	Joint Photographic Experts Group	Avec perte, taux de compression élevé
JPEG 2000	Joint Photographic Experts Group 2000	Avec perte, une amélioration du format JPEG

Quelques remarques concernant ces différents formats d'image :

- Le format JPEG a un taux de compression élevé, réduisant ainsi la qualité de l'image. Il est idéal pour les grandes images et les photos.
- Le format PNG est un algorithme de compression sans perte. Il est très efficace pour des images contenant peu de couleurs différentes ou possédant des grandes zones contenant une couleur unie.
- Il est préférable d'utiliser le format PNG pour des images contenant du texte.
- Le format JPEG 2000 a un taux de compression supérieur à celui du format JPEG.

Voici les résultats récupérés dans le document "Comparison of different image compression formats"[9] présentant les tests de Paula Aguilera concernant les différents type de compressions d'image :

### 4.2.1 Compression sans perte

Pour une image de 24 bit de profondeur de couleur pesant 696KB dans un format BMP contenant de nombreuses zones de couleur homogène.

Format	Poids (en KB)	Taux de compression
BMP	696	1 :1
TIFF-LZW	378	2 :1
PNG	258	2.7 :1
JPEG	43.3	16 :1

Pour une image en niveau de gris pesant 257KB dans un format BMP contenant beaucoup de détails.

Format	Poids (en KB)	Taux de compression
BMP	257	1 :1
TIFF-LZW	251	1 :1
PNG	173	1.5 :1
JPEG	79	3.2 :1

#### 4.2.2 Compression avec perte

Pour une image de 24 bit de profondeur de couleur pesant 768KB dans un format BMP contenant des couleurs vives et des textures. Pour une compression au format JPEG, on peut choisir le degré de qualité que l'on souhaite conserver lors de la compression. Il s'agit d'un nombre entre 1 et 100, plus le chiffre est grand plus le taux de compression sera faible et donc plus la qualité d'image sera élevée. Voici les résultats des tests avec une compression au format JPEG avec des niveaux définis à 100, 50, 10 et 1.

Format	Poids (en KB)	Taux de compression
BMP	768	1 :1
TIFF	768	1 :1
PNG	768	1 :1
JPEG - 100	334	2.3 :1
JPEG - 50	49.5	15.5 :1
JPEG - 10	16.3	47 :1
JPEG - 1	6.3	121 :1

D'après ces tests, les compressions en format PNG et TIFF ne sont pas efficaces à cause des couleurs vives et des textures.

De manière générale, lors d'une compression le format PNG est un très bon choix car le taux de compression est raisonnable avec une qualité d'image satisfaisante, tandis que le format JPEG donnera un taux de compression élevé mais une qualité d'image moins intéressante. Même si le poids des images JPEG est plus faible que celles en PNG, leur qualité est appauvrie par la compression.

Il faut ensuite s'intéresser au temps de chargement nécessaire pour décompresser le fichier en mémoire pour pouvoir l'utiliser et cette étape du chargement sollicite le processeur.

### 4.3 Compression des meshes

Les jeux vidéo utilisent généralement des meshes (maillages) représentant toutes les formes possibles (personnages, bâtiment, véhicules, objets, etc.). Dans le domaine des jeux vidéo, on préfère avoir des maillages composés uniquement de triangles pour leur simplicité. Le nombre de polygones que les machines peuvent afficher est limité, c'est pourquoi on utilise les maillages. Ces formes sont plus ou moins complexes et doivent souvent être compressées pour des questions de volume et de transfert. Pour des jeux en 3D, une carte graphique peut afficher des milliers de polygones (en 2005, une carte graphique pouvait afficher 180 millions de triangles par secondes)[10].

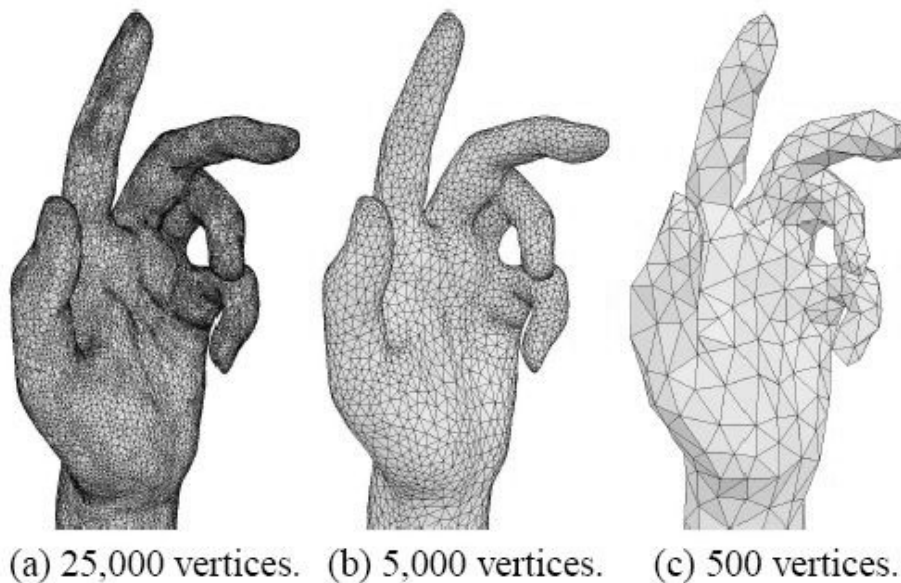


FIGURE 8 – Différents maillage de la surface d'une même forme

Une forme contenant de nombreux triangles sera plus complexe et donc plus détaillé qu'une forme simple qui en contient moins.

Plus le nombre de polygones que l'on souhaite afficher à l'écran est élevé, plus les capacités de la machine seront sollicitées. Dans les jeux 3D à monde ouvert, il faut charger et afficher les éléments de l'environnement les plus

proches du joueur mais aussi parfois les plus éloignés (paysages lointains par exemple). Le but est alors de réussir à charger ces différents objets le plus rapidement possible pour que le jeu soit fluide (le joueur préfère ne pas voir les objets apparaître devant son personnage). La vitesse de chargement des meshes dépend de leur taille, du nombre de polygones dont ils sont composés et des ressources de la machine. En effet il faudra plus de temps pour charger un objet très détaillé (défini par de nombreux polygones) qu'un objet simple. Une astuce consiste à réaliser des meshes complexes pour les éléments qui seront affichés près de la caméra, tandis que pour des éléments qui seront toujours éloigné du personnage tel que les montagnes ou les nuages, il s'agira plutôt de meshes simplifiés. Grâce à cette méthode, la vitesse de chargement de l'environnement est relativement plus rapide.

La compression des meshes permet aussi d'obtenir des fichiers moins volumineux. On distingue toujours la compression avec ou sans perte. La première insiste sur le fait que certains détails seront supprimés avant la compression, il s'agit en général d'éléments jugés non perceptibles par l'œil humain lors de la visualisation.

#### **4.4 Compression des vidéos**

Dans la plupart des jeux, des cinématiques sont utilisées pour mettre en scène l'histoire du jeu. Elles peuvent être réalisées directement avec le moteur du jeu à l'aide d'animations. Souvent, il s'agit plutôt de vidéos en images de synthèses. On les retrouve généralement au démarrage du jeu avant l'écran titre mais aussi avant chaque mission pour présenter la situation. Ces vidéos doivent donc être chargées puis diffusées. Tout comme pour le chargement des objets 3D et les images on peut penser qu'il faut un certain temps à la machine pour effectuer cette action.

Les vidéos prennent beaucoup de place sur le support, ceci est dû à la quantité d'informations qu'elles contiennent. Même si les machines d'aujourd'hui sont de plus en plus performantes il est encore difficile de penser que l'on peut stocker toutes les données d'un jeu sans les compresser. Dans ce cas, il faudrait des dizaines de gigaoctet (voire des centaines) d'espace mémoire pour stocker ces données sur le support de stockage. De plus, le chargement d'une telle quantité d'informations risquerait de prendre énormément de temps, ce qui ruinerait totalement l'expérience de jeu. On se rappelle alors des premiers jeux de la Sony Playstation qui demandaient des temps de chargement élevés pour parvenir à récupérer les données nécessaires pour la scène de jeu en cours. Ce problème s'appliquait aussi aux vidéos qui devaient être chargées en mémoire, lues, puis déchargées pour laisser place

au chargement des autres données.

Il est donc plus judicieux de réussir à réduire la taille des données et ce par la compression mais aussi la décompression lors du chargement. En ce qui concerne les vidéos, on parlera aussi de méthodes de codage vidéo.

Le but est donc de choisir le meilleur format de compression. Voici un tableau montrant le standard de compression vidéo, dont le format CIF est la base d'une hiérarchie de format.

Format	Résolution Lumiance (H x V)	Bits par image	Application
Sub-QCIF	128 x 96	147 456	Vidéo mobile
Quarter CIF	176 x 44	304 128	Vidéo conférence
CIF	352 x 288	147 456	Monitoring vidéo
4CIF	704 x 576	4 866 048	TV, DVD
720i50	1280 x 720	11 059 200	HD TV
1080i50	1920 x 1080	24 883 200	HD DVD

La compression d'une vidéo consiste en fait à encoder les données qu'elle contient pour éliminer les parties redondantes ou inutiles qui ne sont pas nécessaires à la récupération de la vidéo d'origine lors de la décompression. L'encodage est défini par quatre modules : la prédiction, la transformation, la quantification et le codage entropique. Voici les étapes effectuées lors de l'encodage de la vidéo [11] :

- On fournit à l'encodeur la vidéo d'origine.
- La prédiction exploite la redondance entre les trames voisines, ce qui lui permet de construire une prédiction des trames suivantes.
- Le module de transformation convertit le résultat de la prédiction : transformation de la trame en coefficients.
- Les coefficients sont quantifiés en série de coefficients significatifs qui représentent alors de manière plus compacte la trame résiduelle d'entrée.
- Les valeurs quantifiées sont finalement compressées par le codage entropique.

En ce qui concerne le rôle du décodeur, il reconstruit la vidéo à partir de la séquence obtenue lors de l'encodage.

#### 4.4.1 Prédiction

Dans une vidéo, on constate que deux images successives sont relativement identiques. En effet, si la vidéo présente l'animation d'un personnage dans un décor particulier, on peut observer que certains éléments restent inchan-



gés d'une image à l'autre, seul le personnage ou une partie de son corps bouge. Cela permet de définir quelles informations sont redondantes ou non. Ainsi, le module de prédiction obtient un résidu définissant la différence entre les différentes trames.

#### **4.4.2 Transformation**

La transformation permet de compacter la trame obtenue suite à la prédiction. Il existe plusieurs transformées permettant d'effectuer cette tâche, par exemple la Transformée Cosinus Discrète (DCT) qui se base sur des blocs et la Transformée Ondelette Discrète (DWT) basée sur une image entière. Il semblerait que la DWT soit plus performantes que la DCT mais elle nécessite trop de mémoire.

#### **4.4.3 Quantification**

La transformation permet d'obtenir des coefficients qui ont des valeurs parfois très proches. La quantification est alors utilisée pour garder un petit nombre de coefficients significatif. Il s'agit alors de la représentation compacte de la trame résiduelle.

#### **4.4.4 Codage entropique**

Les coefficients quantifiés doivent encore être codés pour les compresser encore plus avec le stockage et la transmission. Le but du codage entropique est d'assigner des codes courts aux symboles les plus récurrents. Le codage Huffman modifié et le codage arithmétique sont deux types de codage entropique.

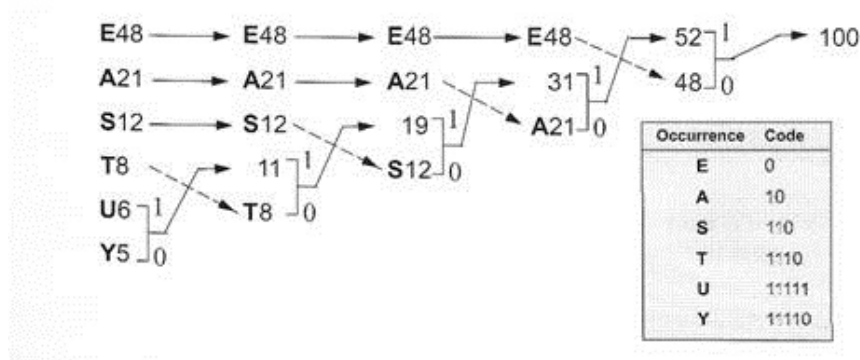


FIGURE 9 – Codage Huffman

Une fois ces étapes réalisées, le stockage peut être effectué. Lorsque la vidéo est demandée par le jeu, le programme charge la vidéo, il doit alors décoder la séquence obtenue lors de la compression. Le temps de décompression est variable en fonction de la taille des données à traiter.

Les organisations internationales de standardisation l'UIT-T et l'ISO/IEC ont développés des standards de compression vidéo tel que le MPEG-4, format utilisé par les jeux vidéo. Une amélioration de ce format, le MPEG-4 H.264 permet lors de la compression d'obtenir un codec plus performant.

Voici les différentes versions du format MPEG :

Format	Période de développement	Application
MPEG-1	1988-1996	Lecteur VHS, stockage de sons et d'image pour CD interactifs
MPEG-2	1990-2000	Diffusion télévisuelle, réseaux et support DVD
MPEG-4	1993-2003	Consoles de jeux vidéo, réseaux sans fil, téléphone cellulaire, satellite
H.26X et H.264 AVC (Advanced Video Coding)	1999-2003	Application de communication à très faible débit de transmission (téléphonie, jeux en ligne, réseaux sans fil)

Le MPEG-4 est un format standard de compression vidéo souvent utilisé dans les jeux vidéo. Les performances du codec au niveau de la compression et de la vitesse de transmission en font un choix efficace.

On peut supposer que lorsqu'une vidéo est lue pendant le jeu, un pro-

gramme permet de charger en fond les données de la séquence de jeu qui suit. Cette technique peut être efficace pour optimiser le temps de chargement. Ainsi le joueur pourra jouer directement une fois la vidéo terminée.

#### **4.5 Compression des sons**

Il existe de nombreux formats de compression audio. Comme pour toutes compressions de données, elle peuvent être avec ou sans perte. Dans tous les cas, le but est de choisir le format dans lequel le taux de compression et la qualité sont satisfaisantes, mais on souhaite aussi que la vitesse de transmission soit la plus rapide possible.

Dans les jeux vidéo, il existe des sons pour presque tous les éléments : décors, objets, personnages, actions, environnement, etc. Le jeu doit souvent lancer plusieurs sons simultanément pour ces différents éléments. C'est pourquoi il faut que la machine puisse charger plusieurs sons à la fois et ce rapidement. Une technique consisterait à charger en mémoire les sons les plus utilisés à un moment donné du jeu, pour pouvoir les jouer immédiatement lorsqu'ils sont appelés, mais cette méthode nécessite du matériel performant capable de stocker une grande quantité d'informations en mémoire.

Il est donc préférable de trouver le format de compression idéal pour que celle-ci soit la plus efficace, avec le moins de perte possible et avec décompression qui se fasse rapidement.

Voici un tableau réunissant quelques formats de compression audio :

Format	Algorithme	Vitesse de transfert (kbits/s)	Latence (ms)
ALAC	Sans perte	-	-
FLAC	Sans perte	-	4.3 - 92
Monkey's audio	Sans perte	-	-
RealAudio	Sans perte	-	-
True Audio	Sans perte	-	-
WavPack	Sans perte	-	-
Windows Media Audio	Sans perte	-	>100
AAC	MDCT-Hybrid, Subband	8 - 529	20 - 405
ATRAC1	MDCT-Hybrid, Subband	292	>100
ATRAC3	MDCT-Hybrid, Subband	66 - 132	>100
ATRAC3plus	MDCT-Hybrid, Subband	48 - 352	>100
MP3	MDCT-Hybrid, Subband	8 - 320	>100
Musepack	Subband	3 - 1300	-
OGG Vorbis	MDCT	8 - 768	>100
Windows Media Audio	MDCT	8 - 768	>100

Le format OGG est le plus souvent utilisé par les jeux vidéo du fait qu'il s'agisse d'un format ouvert et libre. Le MP3 est aussi un format très utilisé. On constate d'après le tableau que la vitesse de transfert est plus élevée avec le format OGG. Ce format est une compression obtenue à partir de différents algorithmes générant un fichier son qui, lorsqu'il est décompressé par le décodeur, reste fidèle au son d'origine pour l'oreille humaine. En effet, en utilisant ce format audio, notre oreille parvient difficilement à percevoir les différences entre le fichier compressé et le fichier original malgré la perte d'informations générée par la compression.

## 4.6 Tableau des formats de compression multimédia

Type	Norme	Formats
Vidéo	ISO/CEI	MJPEG, Motion JPE 2000, MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 ASP, MPEG-4/AVC, HEVC
	UIT-T	H.120, H.261, H.262, H.263, H.264, HEVC
	On2	VP3, VP5, VP6, VP7, VP8, VP9
	Autres	AMV, AVS, Bink, Cinepak, Dirac, Indeo, jpg.rem, Pixlet, RealVideo, rem, RTVideo, SheerVideo, SmackerSmacker, Snow, Sorenson, Theora, VC-1, WMV
Audio	ISO/CEI	MPEG-1 Layer III (MP3), MPEG-1 Layer II, MPEG-1 Layer I, Advanced Audio Coding, AAC, AAC+, eAAC+, SBR, Parametric Stereo
	UIT-T	G.711, G.719, G.722, G.722.1, G.722.2, G.723, G.723.1, G.726, G.728, G.729, G.729.1, G.729a
	Autres	AC3, AMR, Apple Lossless, ATRAC, CELT, FLAC, iLBC, Monkey's Audio, u-law, Musepack, Nellymoser, OptimFROG, Opus, RealAudio, RTAudio, SHN, Siren, Speex, TAK, Vorbis, WavPack, WMA
Image	ISO/CEI/UIT-T	JPEG, JPEG 2000, JPEG-LS, JBIG, JBIG2, PNG, WBMP
	Autres	BMP, GIF, ICER, ILBM, PCX, PGF, TGA, TIFF, JPEG XR/HD Photo, EMF/WMF, WebP

## 4.7 Compression des textures

### 4.7.1 Généralités

Les jeux sont de plus en plus réalistes que ce soit au niveau sonore ou au niveau graphique. Pour les jeux à monde ouvert, de nombreux objets sont affichés à l'écran, ils peuvent être plus ou moins détaillés et donc avoir une qualité particulière en fonction de leur type et surtout de leur importance pour l'expérience de jeu proposé par les développeurs.

La plupart des objets utilisés dans les jeux vidéo possèdent une texture : c'est une image en 2D qui est appliquée sur une surface ou un volume permettant de l'habiller. Il s'agit d'une sorte de papier peint qui peut être déformé en fonction de la forme sur laquelle on l'applique, ces textures sont alors plus

ou moins complexes.



FIGURE 10 – Exemples de textures appliquées sur des objets 3D

Puisque ces textures sont de plus en plus détaillées et de bonne qualité, le fichier peut être très volumineux. Lorsque plusieurs objets sont affichés à l'écran, il faut charger en mémoire leur texture, ce qui demande énormément de ressources. Il est donc important de soulager le travail du processeur et de faire en sorte que le chargement de tels éléments se fassent le plus rapidement possible pour pouvoir libérer de l'espace mémoire. Ainsi, il est conseillé de compresser les textures. Bien entendu il existe plusieurs techniques plus ou moins efficaces.

Nous allons présenter quelques algorithmes de compression de texture pouvant être utilisé avec Direct3D (une bibliothèque logicielle de DirectX de

Microsoft, moteur de rendu graphique en 3D sur les systèmes d'exploitation Windows) et OpenGL. nous nous intéresserons donc aux formats de compression DXT (S3TC), 3Dc et A8L8. Chacun de ces formats sont plus ou moins utilisés et possèdent leurs propres forces et faiblesses.

#### 4.7.2 Le format de compression DXT

Il s'agit d'un standard de Direct3D et il existe plusieurs versions de cette méthode : DXT1, DXT2, DXT3, DXT4, DXT5 ; chacune étant utilisée pour un type d'image spécifique. La méthode générale consiste à représenter des blocs de 4x4 pixels à l'aide de bits. Un pixel sera défini par 4 bits si on utilise DXT1 (pas obligatoirement de bit utilisé pour l'alpha, si l'alpha est utilisé, on utilisera seulement 1 bit). Un pixel sera représenté par 8 bits pour DXT2, dont les 4 bits supplémentaires définiront l'alpha. Avec cet algorithme de compression avec perte, on obtient des blocs de 4x4 pixels pouvant aller de 64 à 128 bits, permettant d'avoir un taux de compression variant de 4 :1 à 6 :1. En fonction de la version que l'on utilise, on peut obtenir des images moins lourdes en mémoire au détriment de la qualité. En effet, les images seront définies par plus ou moins de bits, donc plus ou moins d'information pour chaque composante de couleur et d'alpha.

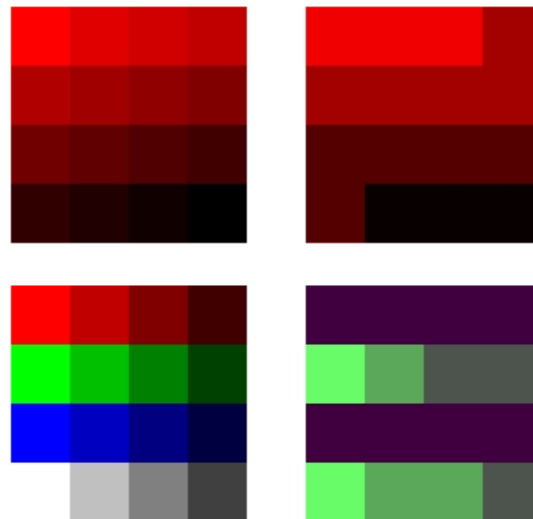


FIGURE 11 – Résultats de la compression DXT1

On constate sur l'image ci-dessus que le résultat de la compression n'est pas très fidèle à l'image d'origine : il y a moins de variation dans les couleurs. Ceci s'explique par le fait qu'on utilise moins de bits pour représenter chaque composant et donc qu'on stocke moins d'information. Il est donc parfois préférable d'opter pour une version plus récente de cet algorithme pour avoir une qualité supérieure en ayant un taux de compression plus faible mais restant satisfaisant.

Cette méthode n'est pas utilisable pour tous les types d'image. En effet, il est déconseillé de s'en servir pour compresser des images dessinées à la main (effet cartoon) ou pour des normal map. Ceci est dû au fait que ce type d'image souhaitant simuler un effet de relief contiennent des variations de couleur souvent très brutales, or la compression au format DXT permet plutôt de gérer images ayant des variations plus faibles entre les pixels voisins.

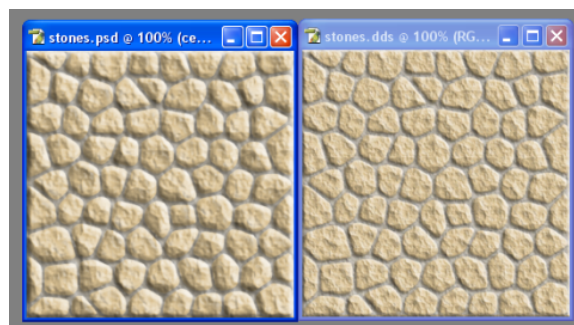


FIGURE 12 – Compression DXT efficace

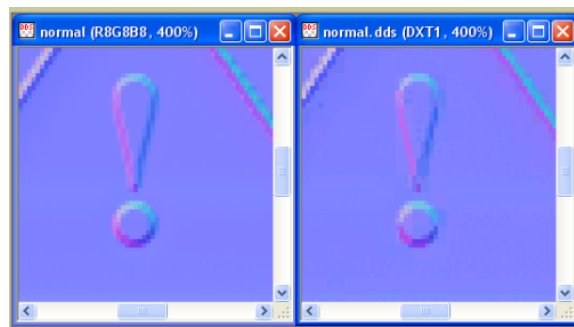


FIGURE 13 – Compression DXT peu efficace : normal map

Cependant il existe tout de même des astuces pour pouvoir utiliser cette méthode de compression pour compresser les normal map.



### 4.7.3 Le format de compression 3Dc

## 5 Optimisation par le level design

### 5.1 Conception du monde

Une autre façon d'améliorer les temps de chargement est d'adapter le level design afin de satisfaire les exigences des plate formes visées. Par exemple, si nous prenons la carte d'un jeu à monde ouvert comme GTA 3, sorti sur PlayStation 2 et PC nous pouvons voir que les différentes parties de la ville sont organisées de façon à laisser un 'couloir' disponible pour que les chargements liés aux déplacements du joueur puissent avoir lieu.

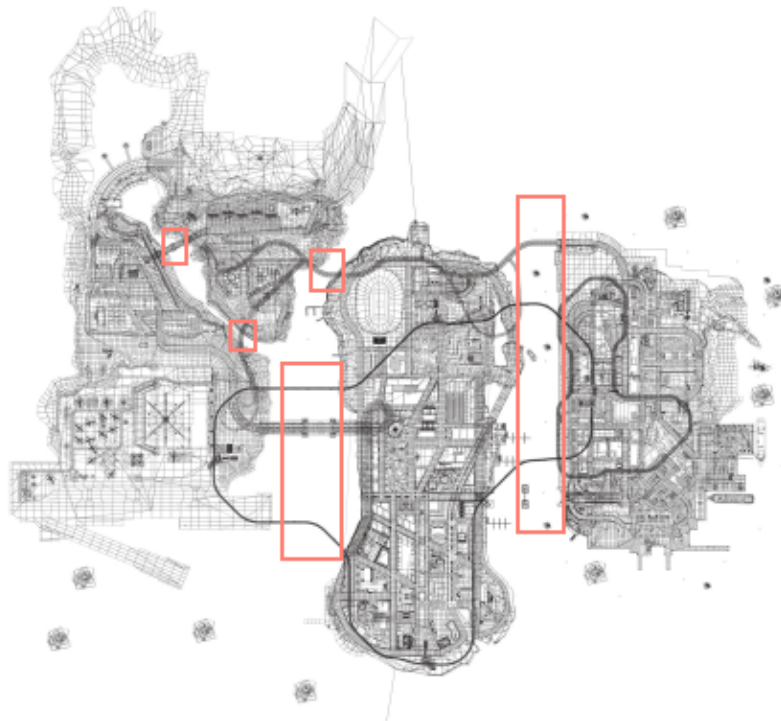


FIGURE 14 – Zones de chargement dans GTA 3

Cependant, les chargements sont appliqués de manière assez brutale, le jeu étant bloqué en attendant la réception des données. Rockstar a donc échoué à proposer un chargement fluide malgré l'adaptation du level design, cependant cette technique leur a permis d'imposer un chargement dans des zones sans intérêt pour que le joueur puisse profiter d'un jeu fluide en dehors de ces zones tampons.

## 5.2 Intégration au monde

Les chargements peuvent être intégrés au jeu et complètement transparents pour l'utilisateur. Si nous prenons l'exemple de Metroid Prime sur Gamecube, le jeu très détaillé nécessite de charger beaucoup de données. Cependant, il ne présente aucun écran de chargement. Les développeurs ont eu une idée astucieuse pour camoufler ces chargements et savoir dans quelle zone le joueur va se diriger pour charger uniquement le nécessaire.

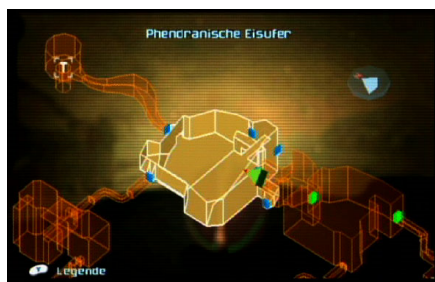


FIGURE 15 – Salle d'un niveau de Metroid Prime

Sur l'image ci-contre, nous pouvons apercevoir une salle d'un niveau du jeu, avec en bleu les portes qui permettent au joueur de quitter la salle pour en rejoindre une autre. A priori, impossible de savoir vers quelle porte le joueur va se diriger, et charger l'ensemble des zones connectées prendrait trop de mémoire et ne permettrait pas d'avoir un monde aussi détaillé. Pour résoudre ce problème, les développeurs du jeu ont trouvé une astuce : demander au joueur de réaliser une action vers la porte qu'il souhaite franchir, en tirant dessus. Une fois le tir envoyé sur la porte, le chargement de la zone connectée est lancé.

Visuellement, le joueur comprend la situation : une porte bleue est une porte qui peut être ouverte avec un tir, et une fois que le halo bleu a disparu, la porte se prépare à être ouverte au bout d'un certain délai, plus ou moins long. Cependant le fait que l'utilisateur soit actif pour ces zones de chargement donne l'impression que le jeu n'en présente pas.

Ce mécanisme se retrouve dans de nombreux autres jeux, où un obstacle nous fait face (souvent une porte ou un portail) et ne s'ouvre que lorsque la zone suivante est complètement chargée. Dans un monde ouvert, cela peut poser un problème puisque cette méthode semble plus adaptée aux jeux découpés en salles. Cependant nous pouvons appliquer ce mécanisme aux habitations qui bordent les routes, aux grottes bloquées par un rocher à exploser, etc.



FIGURE 16 – Porte avant activation

## 6 Conclusion

## Références

1. Computer Hope. Cd-rom transfer speeds, 2012.
2. Gabriel Torres. Measuring cd-rom and dvd-rom performance, 11 2004.
3. Wikipedia. Blu-ray disc, 2013.
4. Wikipedia. Hard disk drive, 2013.
5. Wikipedia. Solid-state drive, 2013.
6. Fredrik Lönn (Gamasutra). Streaming for loading in next generation games, 2000.
7. Gamasutra. About streaming in just cause, 2013.
8. Scott Bilas. About streaming in dungeon siege, 2003.
9. Paula Aguilera. Comparison of different image compression formats.
10. Pierre Alliez. Meshes compression, 2005.
11. Nguyen Thi Anh Tuyet. Compression vidéo pour des images de synthèse, optimisation de débit, 2010.