

Université de Bourgogne



Rapport de Projet tuteuré

Décimation de maillages par la mesure de la qualité visuelle

Tuteur : Romain Raffin

Réalisé par : DIARRA Ibrahim

24 mars 2023

Outils Utiliser

Polygone mesh Processing [PMP](#)

MeshLab [site web](#)

Gitlab [site web](#)

Overleaf [site web](#)

Visual studio code [site web](#)

Table des matières

1	<u>Introduction</u>	iv
1.1	Cadre de l'étude et problematique	iv
1.2	Solution envisager	iv
2	<u>Saillance</u>	v
2.1	Model de détection de saillance	v
2.2	Résultats du model	vii
3	<u>Simplification</u>	x
3.1	Surface Simplification Using Quadric Error Metrics	x
3.2	Ajout de la saillance dans le processus de décimation	xiii
4	<u>Résultats et problèmes rencontrés</u>	xiv
4.1	Résultats de la simplification	xiv
4.2	Problèmes rencontrés	xvii
5	<u>Conclusion</u>	xviii

1 Introduction

Les données tridimensionnelles (maillages et nuages de points) sont utilisées aujourd’hui dans d’innombrables domaines. Les techniques et les outils d’acquisitions ont grandement évolué et permettent aujourd’hui d’avoir de très grandes résolutions (de l’ordre du micromètre et dans certains cas du nanomètre).

Les maillages ou les nuages de points ainsi obtenus ont un cout de traitement (aussi bien en temps qu’en mémoire) trop élevé, d’autant plus lorsque l’interface de gestion est un client léger. Par exemple, le jumeau numérique de [David de Michel-Ange](#) a été réalisé dans un premier temps en 1999 avec une résolution de 1 mm par l’université de Stanford. Le résultat est un fichier PLY binaire de 1,2 Go, contenant 56 millions de faces et 28 millions de sommets. Une nouvelle numérisation plus précise a été réalisée en 2009. De cette dernière résulte un maillage de 480 millions de polygones avec une résolution de 0.29 mm.

Aujourd’hui encore, les techniques et les outils de numérisation ne cessent d’évoluer et on a la naissance de projets de très grande envergure. Il y a notamment le projet [Lidar HD](#) de l’institut national de l’information géographique et forestière (IGN), qui a pour objectif de numériser la totalité du territoire français à très grande résolution grâce à la technologie [lidar](#). Cela va sans aucun doute représenter de très grandes quantités de données.

1.1 Cadre de l’étude et problematique

Pour certaines utilisations et notamment la visualisation, une version simplifiée d’un maillage est suffisante.

En 1976, James Clark introduit le terme [niveau de détails](#)(level of detail). Cela désigne le fait que pour un maillage, il existe (ou du moins) on peut créer plusieurs autres versions avec de moins en moins de détail en simplifiant le maillage original. Cela permet des applications telles que la transmission progressive ou l’affichage adaptatif (omniprésent notamment dans les jeux vidéo). À partir de cette date, plusieurs méthodes de simplification ont été proposés. On peut notamment citer l’algorithme de P.Hinker et C.Hansen (1993), l’algorithme de Kalvin et Taylor en (1996), l’algorithme de Varshney en (1996), l’algorithme de Garland et al (Qslim (Surface Simplification Using Quadric Error Metrics) 1999) et pleins d’autres encore. Ces derniers sont souvent qualifiés de classique et d’autres méthodes basé sur le deep-learning ont vu le jour les dernières années.

Les méthodes de simplification utilisent des outils d’optimisation de maillages tels que la réduction d’arête (Edge collapse), la relaxation du degré ou encore le basculement d’arête comme expliquer par [Aurélien Renault](#). Ces derniers retirent des éléments(faces, arête, sommets) du maillage selon certains critères qui varient d’une méthode à l’autre et qui ont une grande influence sur le résultat. Dans le cas des algorithmes dits classique, ils sont entièrement basés sur la géométrie et la topologie du maillage. Cela donne de bons résultats, mais pose également un problème. En effet, cela a tendance à lisser les zones détaillées. Ces défauts sont visibles à l’œil lors de rendus, mais très difficilement quantifiable.

1.2 Solution envisager

En simplification, notamment dans le cadre de la visualisation, le but est d’obtenir un maillage de plus faible complexité géométrique en limitant au mieux l’impact visuelle de la perte de

données. Il faut donc trouver un compromis entre les détails et la réduction de complexité. Avec l'avancée des neurosciences et de la théorie de l'attention visuelle, il est aujourd'hui possible de déterminer sur des maillages à quel point une zone peut attirer l'attention d'un observateur. Cette quantification est nommée saillance. Il serait alors intéressant d'utiliser cela comme critère dans les algorithmes de décimation afin de préserver davantage les zones qui attirent l'attention et de concentrer la décimation sur les autres zones.

L'objectif du projet est donc d'intégrer la saillance dans le processus de simplification afin de conserver au mieux les zones détaillées.

Dans ce rapport, nous verrons :

1. Dans un premier temps, la détection de la saillance sur un maillage.
2. Dans un second temps, nous parlerons de la simplification de maillage utilisant cette mesure de saillance.

2 Saillance

La saillance d'un élément peut être défini comme la capacité de celui-ci à ressortir ou pas davantage par rapport aux autres éléments de la scène pour un observateur. C'est en quelque sorte la quantification de la capacité pour un objet ou une zone de la scène à attirer l'attention d'un observateur par rapport aux autres éléments de la scène.

Comme expliquer dans la thèse de [Anass Nouri](#), il existe deux processus physiologiques qui dirigent le regard d'un observateur vers une zone saillante. Ce sont les Processus attentionnels et notamment le processus bottom-up et les processus Top-down. Le deuxième dépend de l'observateur et de ce qu'il cherche à priori dans la scène. Quant au premier, il dépend des propriétés de la scène observée.

L'étude de ces deux processus a conduit à la théorie de l'attention visuelle. L'attention visuelle désigne le fait que le regard d'un observateur se dirige vers les zones saillantes d'une scène sans volonté particulière de cette personne. Le calcul de la saillance sur un maillage a pour but de détecter ces zones.

Il y a notamment la [Feature Integration Theory \(FIT\)](#) de Treisman et Gelade(1980) et la [Guided Search Model \(GS\)](#) de Wolfe (1989)

Plusieurs expériences de Treisman montre alors que la couleur, l'orientation, la taille, la forme, l'intensité lumineuse, le mouvement peuvent attirer le regard. Ils sont donc qualifiés d'attributs saillants.

Dans l'article [What Attributes Guide the Deployment of Visual Attention and How Do They Do It?](#) Wolfe souligne également un certain nombre d'attributs qu'on pourrait qualifier de saillants.

2.1 Model de détection de saillance

Il existe dans la littérature plusieurs propositions de méthode de détection de la saillante sur les images 2d ainsi que sur les maillages 3d. Pour ces derniers, une approche consiste à créer une projection 2d et à appliquer les méthodes de détection des images 2d.

Cette approche est généralement considérée comme insuffisante car elle ignore un attribut majoritairement considéré comme saillant qui est la courbure. En effet, la plupart des modèles qui

définissent la saillance directement sur les maillages 3d considère que la courbure est un bon indicateur pour la saillance.

La méthode de détection de saillance utiliser pour ce projet est la méthode de [Lee et al paru en 2005](#). Les auteurs de cette méthode considèrent que la courbure est fortement lié à la saillance mais ne peut pas être directement considéré comme attribut saillant. En effet, en considérant uniquement la courbure, les zones lisses avec un pic de courbure seront bien designer comme étant saillantes. Les zones avec une répétition homogène de pics seront également considérer à tort comme saillantes. La courbure n'est donc pas directement utilisable. La méthode proposée consiste à mesurer la saillance en utilisant un opérateur centre-pourtour sur les courbures gaussiennes dans un espace d'échelles DoG (Difference Of Gaussians).

Les étapes sont les suivantes :

1. Dans un premier temps, la courbure moyenne pour chaque sommet v est calculée. Elle est noté ici $C(v)$.
2. Soit $N(v, \sigma)$ l'ensemble des voisins de v à une distance $< \sigma$.

$$N(v, \sigma) = \{x | \|x - v\| < \sigma\}$$

avec $x \in$ des sommets du maillage.

Soit $G(C(v), \sigma)$ représente le poids gaussien moyen de la courbure moyenne au sommet v et avec l'échelle σ . Cela se calcule de manière suivante :

$$G(C(v), \sigma) = \frac{\sum_{x \in N(v, 2\sigma)} C(x) \exp[-\|x - v\|^2 / (2\sigma^2)]}{\sum_{x \in N(v, 2\sigma)} \exp[-\|x - v\|^2 / (2\sigma^2)]}$$

Avec cette formule, on cherche à attribuer à chaque sommet v une valeur qui reflète la moyenne des courbures de la zone autour de v . C'est l'application de l'opérateur centre-pourtour. Cette zone est définie par σ . Plus, il est grand et plus la zone est large. Cela permettra de calculer la saillance à de multiple échelle.

Dans un premier temps, la courbure des sommets dans la zone est pondéré par un coefficient défini par une gaussienne centré sur le point v . Plus un voisin est éloigné et plus son coefficient (et donc son influence) est faible.

Dans un second temps, la moyenne de cette pondération est calculée et attribuée à v .

3. Après cela, la saillance noté $S_i(v)$ à l'échelle i en un sommet v se définit comme la différence des poids gaussien moyen calculé précédemment à l'échelle σ_i et σ_{2i} en ce sommet.

$$S_i(v) = |G(C(v), \sigma_i) - G(C(v), \sigma_{2i})|$$

4. Une fois les cartes de saillance calculer, un opérateur de suppression est appliqué à chacune. Ce dernier privilégie les cartes de saillance avec de faible pic et supprime les cartes de saillance avec beaucoup de pic similaire. Ces opérations aident à faire ressortir les zones qui se démarquent des autres. Les étapes de l'opérateur de suppression sont les suivantes :

Dans un premier temps, chaque carte de saillance S_i est normalisé.

Ensuite, le maximum de chaque carte noté M_i est calculé.

Après cela, pour chaque sommet, le maximum (le maximum de ses saillances) local noté m_i est calculé.

Enfin, la valeur de chaque saillance pour chaque sommet est pondéré par le facteur $(M_i - m_i)^2$ et la moyenne de cette pondération donne la saillance final.

Voici ci-dessous, sur la figure 1, un diagramme des étapes du calcul de la saillance.

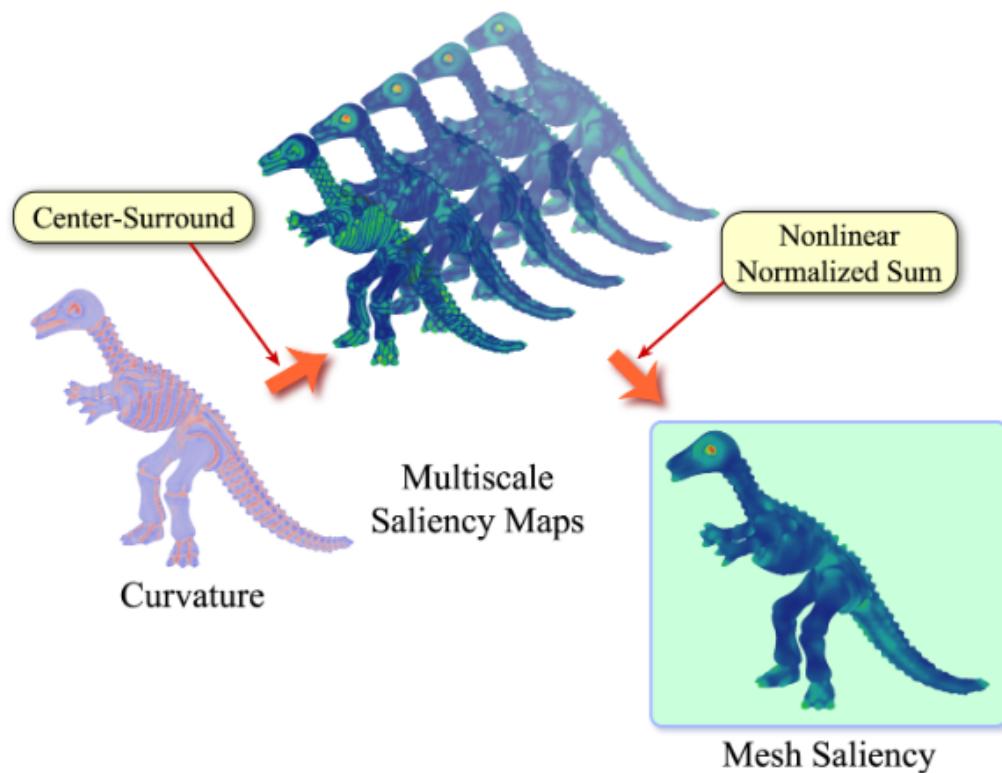
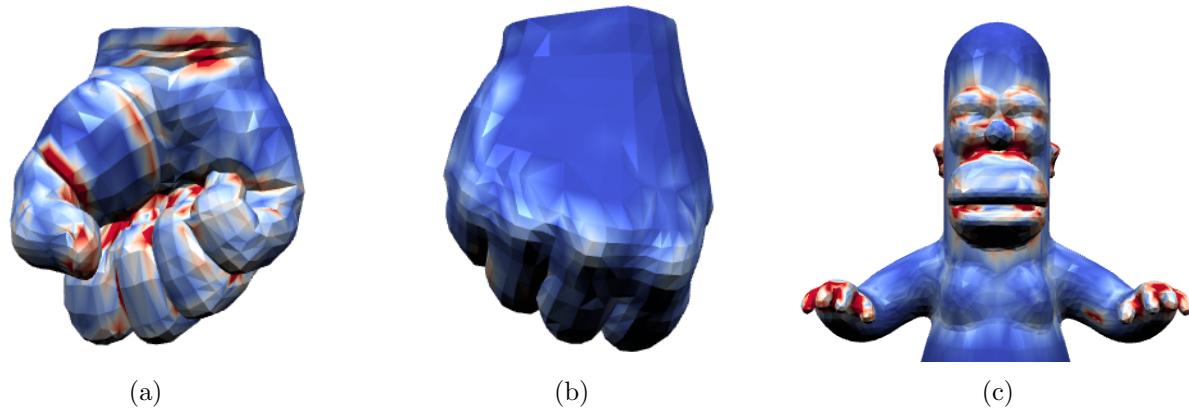


FIGURE 1 – Étapes du calcul de la Saillance

2.2 Résultats du modèle

Sur les figures suivantes, on peut observer le résultat de la détection de saillance sur quelque maillages. Les zones les plus saillantes sont rouges. Les zones bleues sont celles qui ont la valeur de saillance la plus faible.



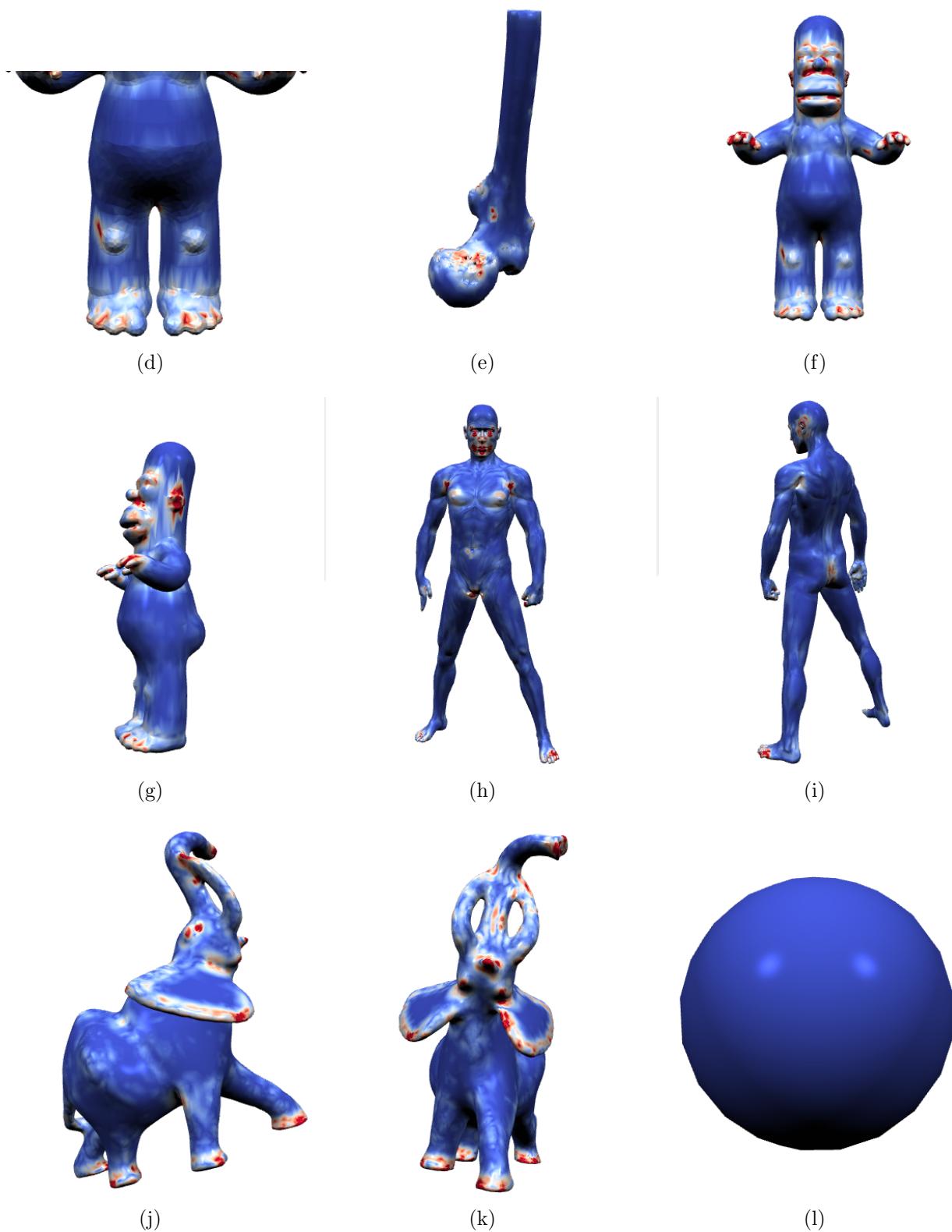


FIGURE 2 – Quelque carte de saillance

Comme on peut le constater sur les figures ci-dessus et ci-dessous, le modèle de saillance de Lee et al semble bien détecter les zones saillantes des maillages. Les visages, les pieds, les pattes,

les oreilles, les petits et grands éléments de géométries qui sont considérés comme saillant sur un maillage sont bien détectés. La sphère n'a aucun élément saillant et on le voit avec le résultat obtenu à la figure 2 (L).

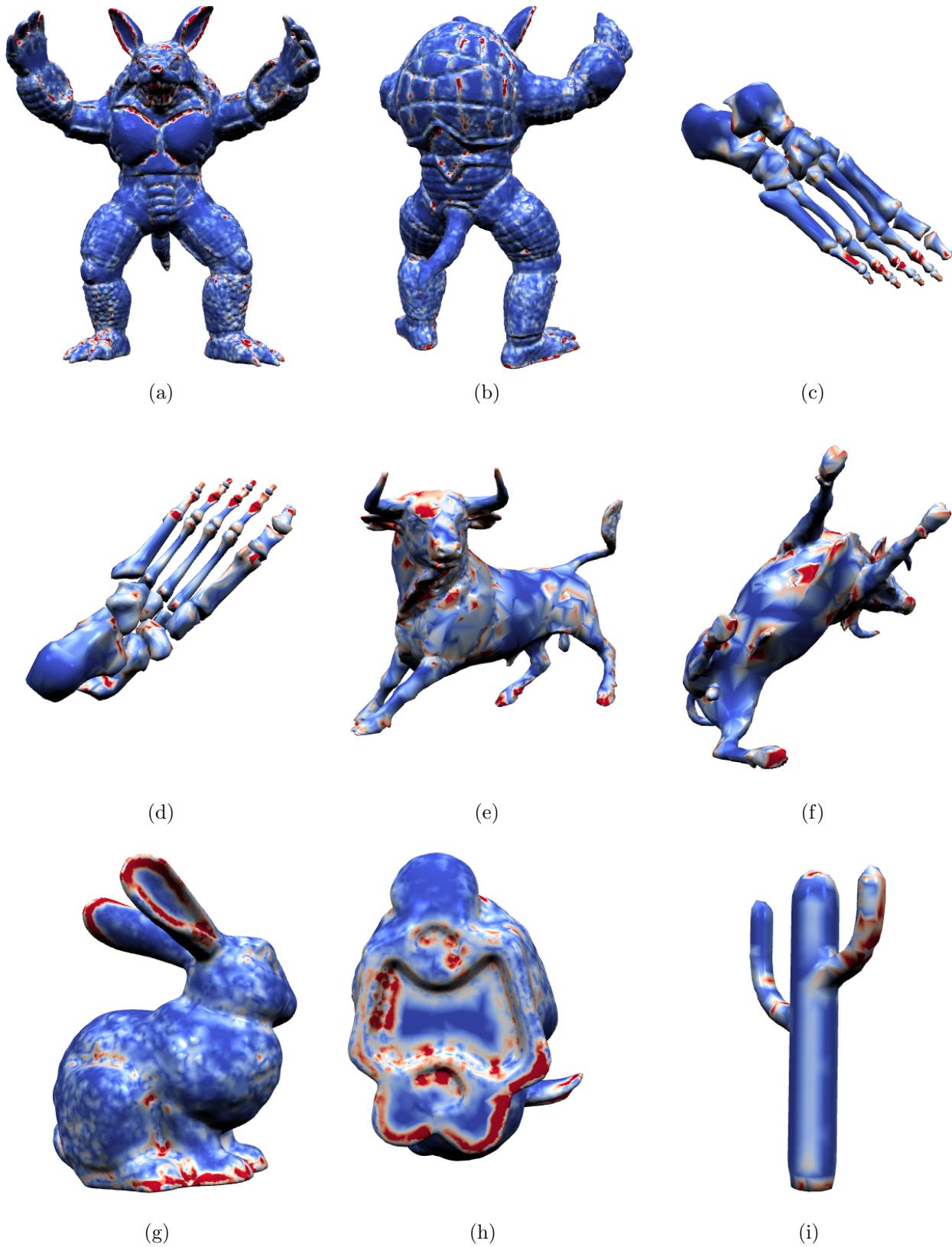




FIGURE 3 – Quelque carte de saillance

Malgré tous ces résultats peuvent encore être améliorés comme le montre Lavoué et al dans [Visual Attention for Rendered 3D Shapes](#)

3 Simplification

Il existe énormément d'algorithme de simplification de maillage. Dans le cadre de ce projet, le choix a été fait d'utiliser l'algorithme de Garland et al ([Qslim](#) (Surface Simplification Using Quadric Error Metrics) paru en 1999 . Les résultats de ce dernier sont déjà assez bon et il est intéressant de voir les améliorations qu'apporterait la saillance.

3.1 Surface Simplification Using Quadric Error Metrics

Cette méthode de simplification utilise la réduction d'arête pour contracter une arête du maillage traité en un point.

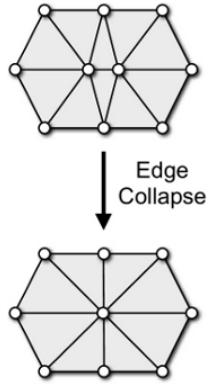


FIGURE 4 – Réduction d’arête (Edge collapse)

Pour choisir l’arête qui déforme le moins le maillage, un certain coût de contraction est définie pour chaque arête du maillage. Ce coût est appelé erreur quadratique (Quadric error metric). Une fois cela fait, celui avec le coût minimum est contractée au point optimal qui est également calculé.

Pour déterminer ce coût, plusieurs étapes sont nécessaires.

1. Dans un premier temps, il faut déterminer une matrice nommée q pour chaque sommet du maillage. Cette matrice permettra de calculer la distance totale entre un sommet et ses faces adjacentes et ainsi quantifier l’éloignement de ce sommet par rapport à son groupe de faces.

L’équation d’un plan s’écrit sous la forme suivante :

$$ax + by + cz + d = 0$$

avec

$$a^2 + b^2 + c^2 = 1$$

La Distance dist d’un point P de coordonnées $\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$ à ce plan se note de la manière suivante :

$$dist = \frac{|ax + by + cz + d|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}$$

$$dist = \frac{(ax + by + cz + d)^2}{a^2 + b^2 + c^2}$$

$$dist = \frac{(ax + by + cz + d)^2}{1}$$

$$dist = (ax + by + cz + d)^2$$

Cela peut être réécrit de la manière suivante :

$$(ax + by + cz + d)^2 = \left(\begin{pmatrix} a & b & c & d \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} \right)^2$$

$$dist = (x, y, z, 1) \cdot \begin{pmatrix} a^2 & ab & ac & ad \\ ab & b^2 & bc & bd \\ ac & bc & c^2 & cd \\ ad & bd & cd & d^2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$dist = P^T \cdot \begin{pmatrix} a^2 & ab & ac & ad \\ ab & b^2 & bc & bd \\ ac & bc & c^2 & cd \\ ad & bd & cd & d^2 \end{pmatrix} \cdot P$$

Ainsi, cette matrice (nommons-la M_f) permet de calculer la distance du point P au plan f d'équation $ax+by+cz+d=0$.

En utilisant cela et pour un sommet v donné, Garland et al définissent la matrice q comme la somme de toutes les matrices M_f du sommet v calculé avec ses plans adjacent (les plans dans lesquels sont inscrites les faces adjacentes) qu'on nommera ici F_p .

Cette matrice q représente alors la distance totale pour un sommet à l'ensemble de ses faces adjacentes.

$$q = \sum_{f \in F_p} M_f$$

2. Après cela, Garland et al définissent également la matrice de distance associée au point résultat P_r de la contraction de deux sommets adjacent (p_1 et p_2) comme la somme des matrices q de ces derniers. Cette matrice sera notée Q.

$$Q_{Pr} = q_{p1} + q_{p2}$$

$$Q_{Pr} = \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & q_{24} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & q_{34} \\ q_{41} & q_{42} & q_{43} & q_{44} \end{pmatrix}$$

Cette matrice est celle qui permettra de déterminer le cout de la contraction. En effet, elle quantifie la distance du nouveau P_r point par rapport aux plans des deux sommets P_1 et P_2 qui ont été contractés. Elle indique donc à quel point le maillage a été modifier à cet endroit.

3. La coordonnée optimale du sommet P_r pour une arête peut donc être définie en minimisant la fonction de cout suivante :

$$cout = (P_r)^T \cdot Q_{Pr} \cdot P_r$$

$$\min(cout) = \min((P_r)^T \cdot Q_{Pr} \cdot P_r)$$

$$= \min((x \ y \ z \ 1) \cdot \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & q_{24} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & q_{34} \\ q_{41} & q_{42} & q_{43} & q_{44} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix})$$

$$= \min(q_{11}x^2 + 2q_{12}xy + 2q_{13}xz + 2q_{14}x + q_{22}y^2 + 2q_{23}yz + 2q_{24}y + q_{33}z^2 + 2q_{34}z + q_{44})$$

Le minimum de cette fonction est atteint quand ses dérivés partiels s'annulent. Ainsi, on obtient :

$$\begin{aligned}\frac{\partial c_{\text{out}}}{\partial x} &= q_{11}x + q_{12}y + q_{13}z + q_{14} = 0 \\ \frac{\partial c_{\text{out}}}{\partial y} &= q_{21}x + q_{22}y + q_{23}z + q_{24} = 0 \\ \frac{\partial c_{\text{out}}}{\partial z} &= q_{31}x + q_{32}y + q_{33}z + q_{34} = 0\end{aligned}$$

Cela peut être réécrit sous la forme matricielle de la manière suivante :

$$\begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & q_{24} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & q_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

En inversant cette matrice, nous pouvons donc déduire les coordonnées du point de contraction optimale (celle qui minimisera la fonction de cout).

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & q_{24} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & q_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

3.2 Ajout de la saillance dans le processus de décimation

Pour intégrer la saillance dans le processus de décimation, un nouveau coût est défini en pondérant le coût de contraction des deux sommets calculés avec l'algorithme de Garland et al par la somme de leur saillance. Ainsi, les sommets avec une saillance élevé seront préservés davantage. La décimation se concentrera alors sur les sommets avec une faible saillance et un faible erreur quadratique. Il est également intéressant de mettre en place un système de poids. Cela permettra à un utilisateur de donner plus ou moins de l'importance à la saillance ou à l'erreur quadratique dans le processus de décimation. Les étapes suivantes décrivent le calcul du nouveau coût :

1. Dans un premier temps, l'erreur quadratique de Garland et al est calculé et normalisé (ramener à un chiffre compris entre 0 et 1) pour chaque sommet.
2. Les saillances sont également calculés et normalisés.
3. La saillance et l'erreur quadratique sont ensuite pondérées par leur poids. Ce dernier est un entier compris entre 0 et 100. Un poids de 60 pour la saillance induit alors un poids de 40 pour l'erreur quadratique.
4. Le nouveau coût est enfin calculé en les multipliant.

4 Résultats et problèmes rencontrés

Dans cette partie, nous discuterons des résultats obtenus et des problèmes rencontrés au cours du projet.

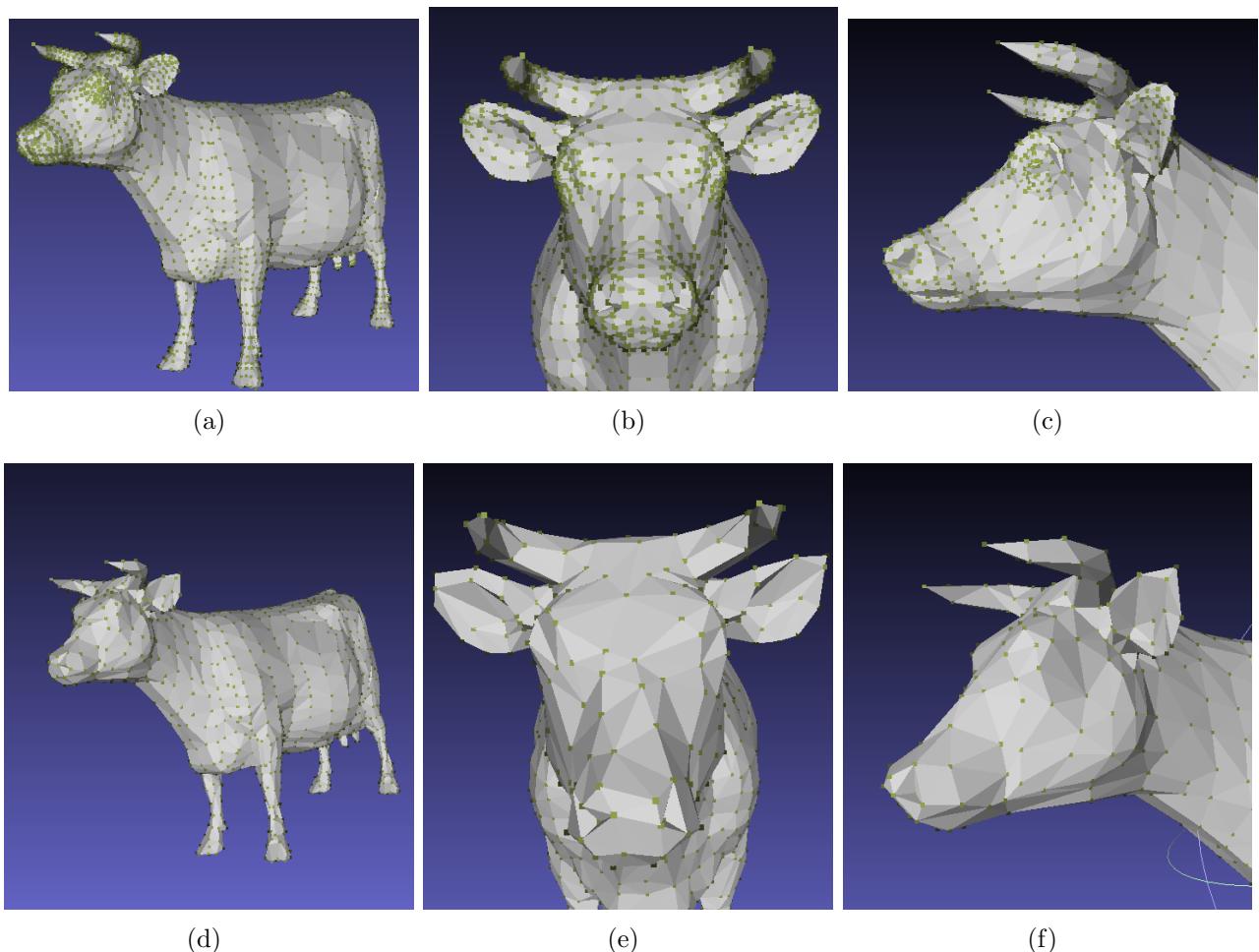
4.1 Résultats de la simplification

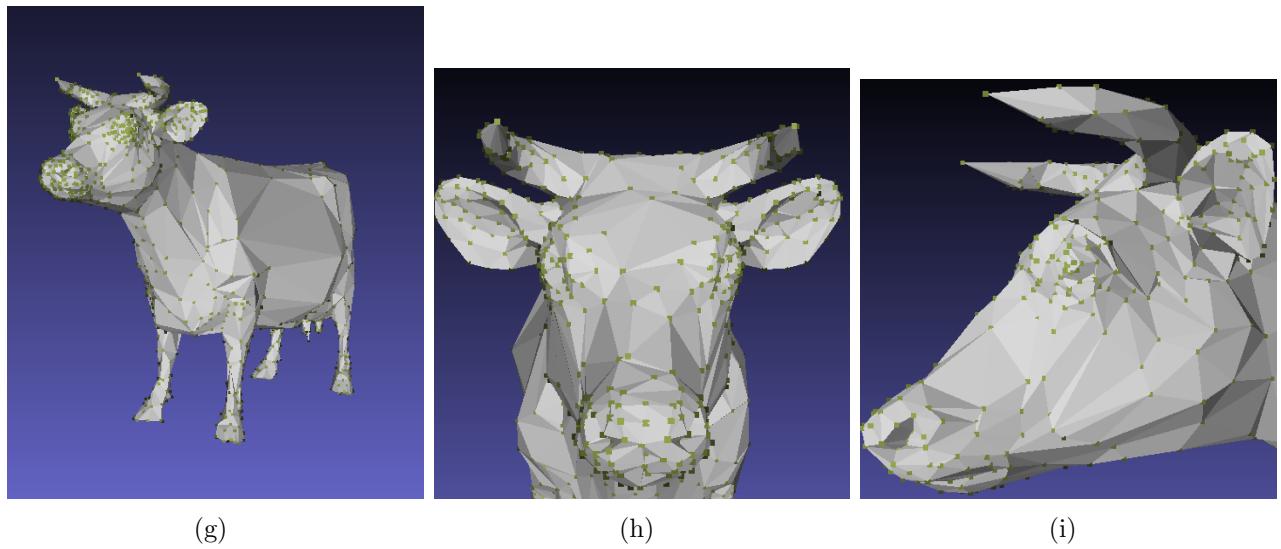
Tous les tests ont été réalisés avec les paramètres suivants :

1. La saillance est défini à partir de 5 cartes de saillance à l'échelle $\sigma_i \in \{2\epsilon, 3\epsilon, 4\epsilon, 5\epsilon, 6\epsilon\}$ et ϵ est défini comme étant 0.3% de la boîte englobante du maillage.
2. Pour la simplification, un poids similaire a été attribué à la saillance et à l'erreur quadratique.
3. Pour la comparaison avec un algorithme qui n'utilise pas de saillance, la simplification(qslim) de MeshLab est utilisée. Les paramètres sont celle par défaut et seule le nombre de face est spécifié pour correspondre au résultat de la simplification utilisant la saillance.

Comme on peut le constater sur les figures suivantes, la simplification utilisant un critère de saillance se concentre sur les zones non détaillées comme annoncé précédemment.

Les points verts sont les sommets du maillage.





(g)

(h)

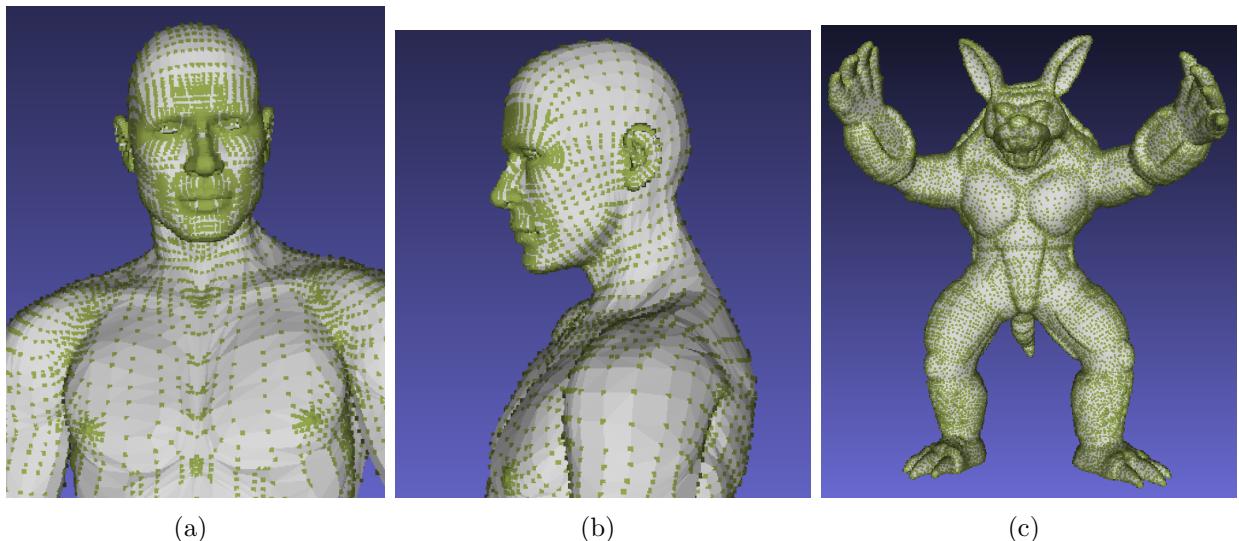
(i)

FIGURE 5 – Décimation à 50 %. a b c (maillage de départ), d e f sont les résultats de qslim (meshlab) et g h i notre décimation

Comme on peut le voir en comparant sur la figure 5 (e) et (h) ou encore (f) et (i), les détails sont bien conservés avec la simplification utilisant la saillance. En effet, les traits du visage de la vache tel que les yeux, le museau, les oreilles commencent à être lissé sur (e) et (f).

Il y a une densité beaucoup plus forte de sommets sur les zones saillantes avec la simplification utilisant la saillance et une très faible densité sur les zones non saillantes comme on peut le voir en comparant (d) et (g) ou encore (i) et (f).

La distribution des sommets sur la simplification basés sur l'erreur quadratique est quant à lui homogène. Cela montre que toutes les zones sont traitées de la même manière.



(a)

(b)

(c)

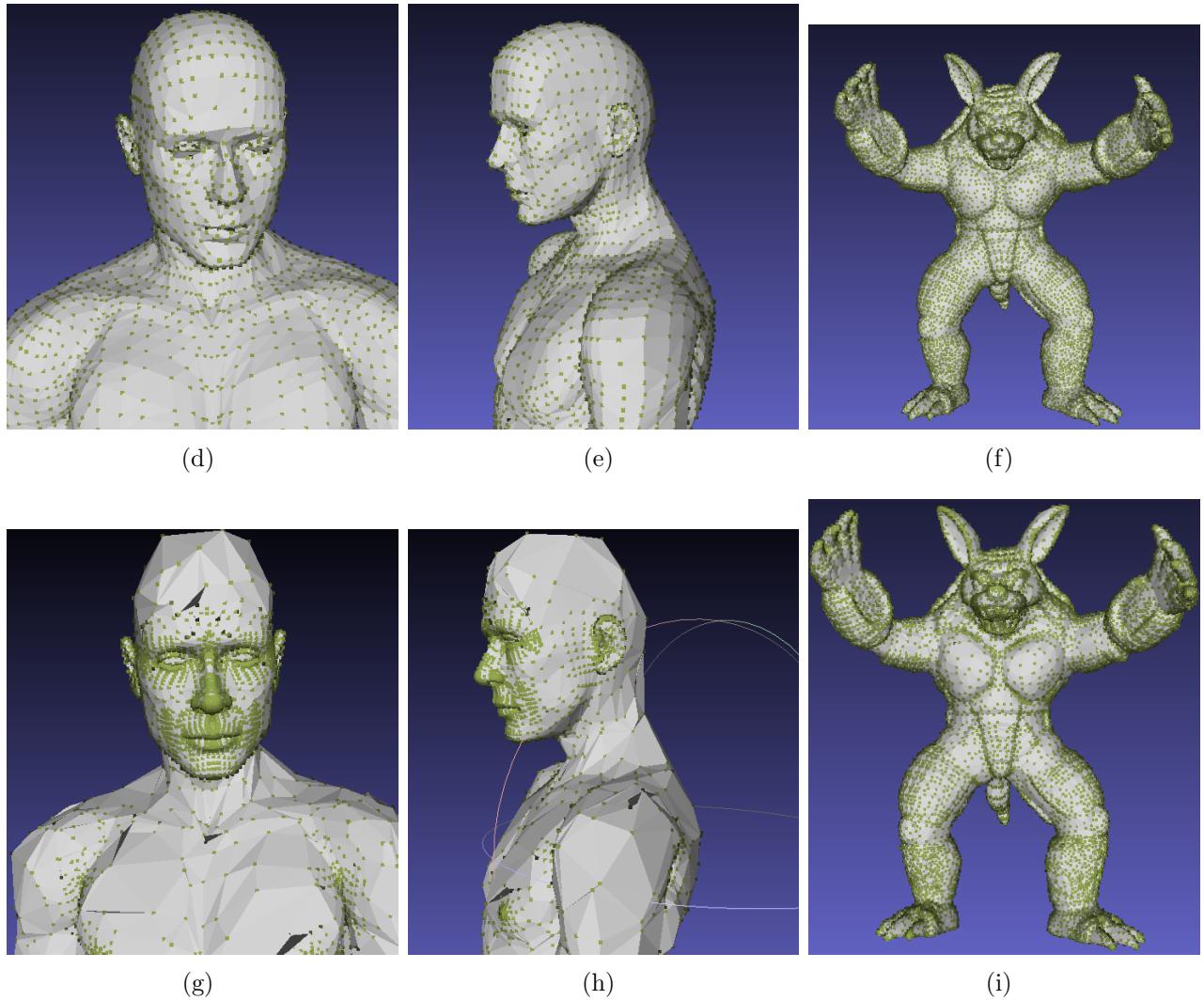
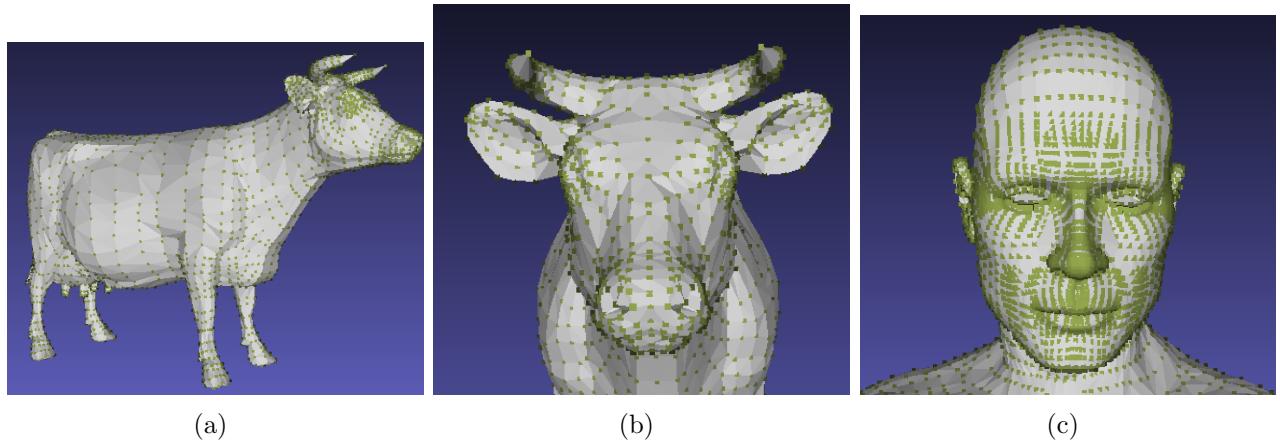


FIGURE 6 – Exemple avec des maillages plus dense. Décimation à 50 %. a b c (maillage de départ), d e f sont les résultats de qslim (meshlab) et g h i notre décimation



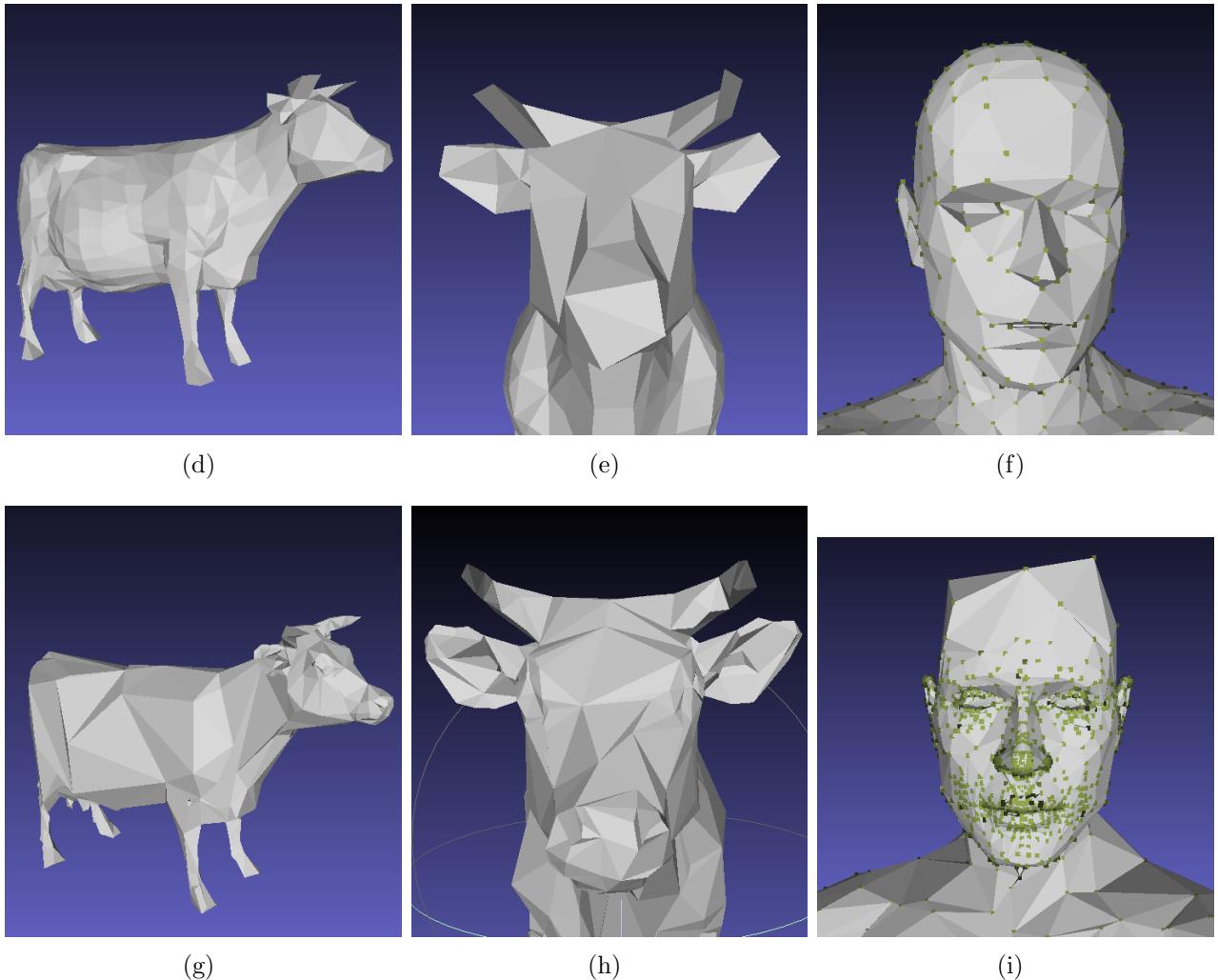


FIGURE 7 – Décimation à 80 %. a b c (maillage de départ), d e f sont les résultats de qslim (meshlab) et g h i notre décimation

Les observations de la figure 5 sont valables pour les figures 6 et 7. Comme on peut le voir, les différences sont beaucoup plus marquées quand on décime davantage. En observant le visage de la vache à la figure 7 (h) et (e), on peut voir que les détails sont beaucoup mieux conserver. Cela est également visible avec (f) et (i). La densité de point sur (i) indique à quel point il est détaillé comparé à (f). On voit également que la déformation des zones non saillante sont accentuées avec la décimation.

4.2 Problèmes rencontrés

Le principal problème rencontré est le temps de traitement qui croît énormément lorsque le maillage à traité a une grande complexité géométrique.

Un autre problème a été le manque d'implémentation des méthodes de saillance de la littérature. Cela nous aurait permis d'aller encore plus loin. Et de pouvoir faire un comparatif affin de déterminer le plus performant pour la décimation.

Une autre difficulté se situe au niveau de l'analyse des résultats. En effet, il est difficile de définir des critères numériques pour faire des comparaisons entre les résultats de décimations.

5 Conclusion

Au terme de ce projet, on peut conclure que l'intégration de la saillance dans les processus de décimations de maillages peut être bénéfique dans la mesure où l'objectif est de conserver les zones détaillées. Il faut tout de même souligner que cela se fait au détriment des zones dites non saillantes. Ces derniers sont alors très fortement déformer. Cela aura un impact non négligeable au moment de la visualisation.

Pour aller plus loin, il serait intéressant de tester d'autres modèles de saillance et de simplification. Cela permettra de dresser un tableau comparatif des performances et de trouver les meilleures combinaisons.

Il serait également intéressant d'utiliser les méthodes de deep-learning dans la détection de la saillance.