

Synthèse d'images par lancer de rayon

Table des matières

1	Algorithme du lancer de rayon	2
1.1	Problème des parties cachées	2
1.2	Problème des ombres portées	2
1.3	Réflexion et transparence	3
2	Modèle de lumière	3
2.1	Composante ambiante	5
2.2	Composante diffuse	5
2.3	Composante spéculaire	5
2.4	Composantes réfléchies et réfractées	5
2.5	Bilan des composantes	6
2.6	Modélisation des couleurs	6
3	Modélisation des objets	7
3.1	Modèle naturel	7
3.1.1	Sphère	7
3.1.2	Plan infini	7
3.2	Modèle à base de facettes	8
4	Le format de fichier PPM texte	8
5	Logiciel à réaliser	9
5.1	Saisie interactive d'une scène	9
5.2	Calcul d'une image	9
5.3	Description XML	9
6	Déroulement du projet	11
6.1	Contraintes sur le développement	11
6.2	Principales dates	11

1 Algorithme du lancer de rayon

L'algorithme du *lancer de rayon* permet de résoudre simplement certains problèmes liés à la synthèse d'images : élimination des parties cachées, détermination des ombres portées, gestion de la réflexion et de la transparence.

Le lancer de rayon est issu d'un concept d'optique géométrique, le chemin d'un rayon lumineux est le même que l'on parte de la source du rayon ou du point éclairé par le rayon. On va donc considérer pour chaque point visible de l'image, les chemins des rayons lumineux partant vers les diverses sources de lumière d'une scène.

On considère que l'écran est constitué d'une matrice de points. L'utilisateur regarde l'écran à partir d'un point de vue. On considère alors les rayons partant du point de vue et passant par chaque point de l'écran. Pour chaque rayon, on détermine s'il rencontre un objet de la scène. S'il en rencontre plusieurs, on choisit l'objet dont l'intersection est la plus proche du point de vue dans la direction du regard (élimination des parties cachées). S'il n'y a aucune intersection, le point de l'écran prend la couleur de l'infini. Sinon, on lance un rayon partant du point d'intersection vers chaque source de lumière, si ce rayon n'intersecte aucun objet entre son point de départ et la source de lumière, le point d'intersection est éclairé par la source de lumière (élimination des sources cachées, c'est-à-dire calcul des ombres portées). On considère ensuite les propriétés de réflexion et de réfraction de l'objet. S'il est réfléchissant, la couleur du point sera en partie déterminée par ce que l'objet reflète, on lance alors un rayon dans la direction réfléchie du rayon incident et on utilise la couleur du point visé par le rayon pour calculer la couleur réfléchie. On utilise le même principe pour la transparence (réfraction). Chaque nouveau rayon lancé suit la même procédure pour déterminer sa couleur. Cette procédure peut de nouveau engendrer des rayons supplémentaires. Il est donc nécessaire de limiter la profondeur du lancer de rayon pour ne pas lancer une infinité de rayons, par exemple lorsque deux miroirs se trouvent face à face.

1.1 Problème des parties cachées

Un des premiers problèmes apparus en synthèse d'image est le problème des parties cachées. Il s'agit de déterminer quelles sont les parties visibles des objets d'une scène. Le lancer de rayon permet de résoudre ce problème en choisissant l'objet, intersectant le rayon, le plus proche du point de vue. La Figure 1 montre comment un rayon permet de déterminer la partie visible d'un objet : O3 est partiellement caché par O1. Les rayons lancés permettent d'éliminer la partie de O3 qui est cachée par O1. De plus, aucun rayon n'atteint O2 qui n'est donc pas visible.

1.2 Problème des ombres portées

Le problème des ombres portées consiste à déterminer les parties des objets qui sont éclairées par les sources de lumière. Le lancer de rayon permet de résoudre ce problème en lançant un rayon vers chaque source de lumière, si le segment [point d'intersection, source] ne rencontre pas d'objet, le point est éclairé par la source sinon il est dans l'ombre d'un objet. La Figure 2 permet de voir comment l'objet O1 est dans l'ombre de l'objet O2 pour la source L2 et comment il est éclairé par les sources L1 et L3.

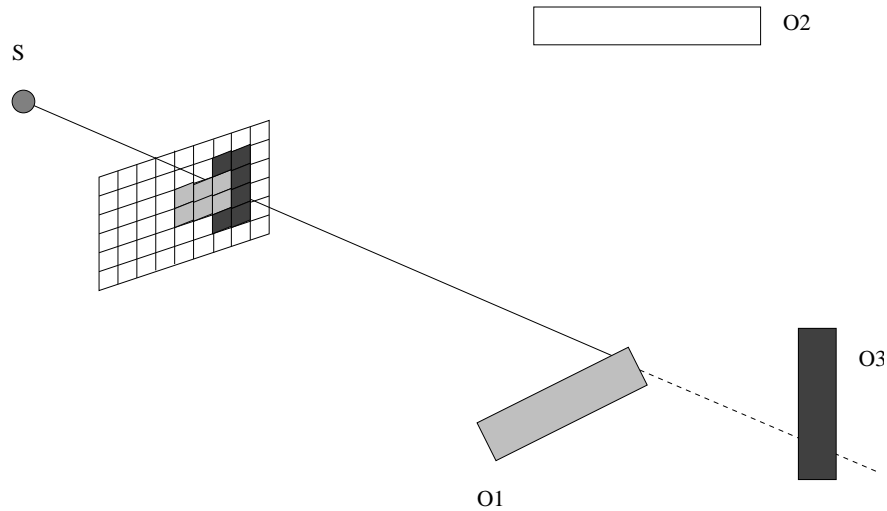


FIGURE 1 – Élimination des parties cachées.

1.3 Réflexion et transparence

Le lancer de rayon permet de gérer simplement les réflexions et réfractions de la lumière sur un objet. En effet, lorsqu'un rayon rencontre un objet, on détermine le rayon réfléchi et le rayon réfracté par l'objet et on lance ces rayons dans la scène de manière à obtenir la couleur vue par ceux-ci.

La Figure 3 met en évidence les mécanismes de réflexion et de réfraction. Le rayon initial est réfléchi par O1 et produit le rayon R1 qui est réfléchi par O2 et produit le rayon R2 qui est réfléchi par O1 et produit le rayon R3 qui se perd à l'infini. Le rayon initial est réfracté par O1 et produit le rayon T1 qui est réfracté par O1 et produit le rayon T2 qui atteint O3. La couleur du point d'intersection I est alors fonction des couleurs vues par R1 et T1.

La Figure 3 met en évidence les angles de réflexion et réfraction, vérifiant les lois optiques :

$$i = i'$$

$$n \sin(r) = n' \sin(r')$$

Voici les résultats des calculs permettant d'obtenir le rayon réfléchi \vec{R} et le rayon réfracté \vec{T} à partir du rayon incident \vec{I} :

$$\vec{R} = \vec{I} - 2(\vec{I} \cdot \vec{N})\vec{N}$$

$$\vec{T} = \frac{n}{n'}(\vec{I} - \left((\vec{I} \cdot \vec{N}) + \sqrt{\left(\frac{n'}{n}\right)^2 + (\vec{I} \cdot \vec{N})^2 - 1} \right)\vec{N})$$

2 Modèle de lumière

Lorsque l'on sait quelles sont les sources de lumières qui éclairent un objet, il faut calculer l'influence de chaque source colorée sur la couleur de l'objet. Pour cela, on utilise le modèle de

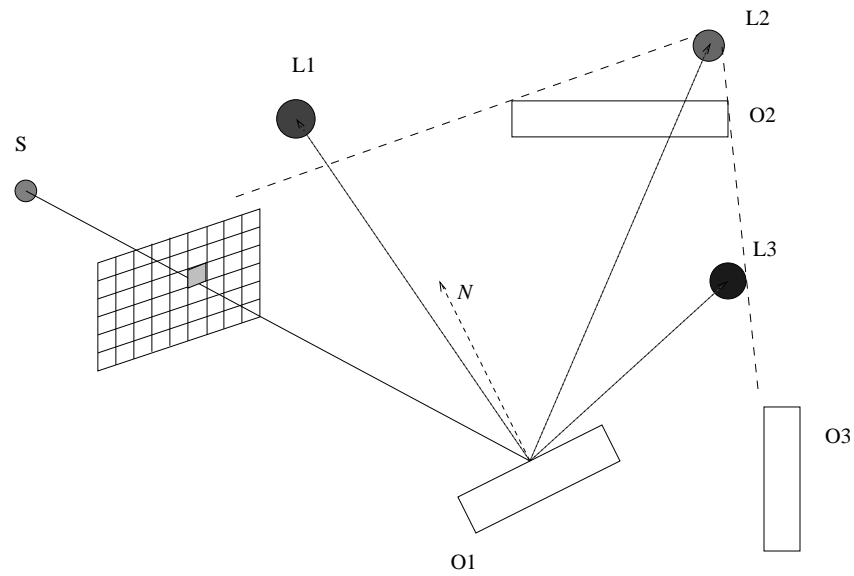


FIGURE 2 – Ombres portées.

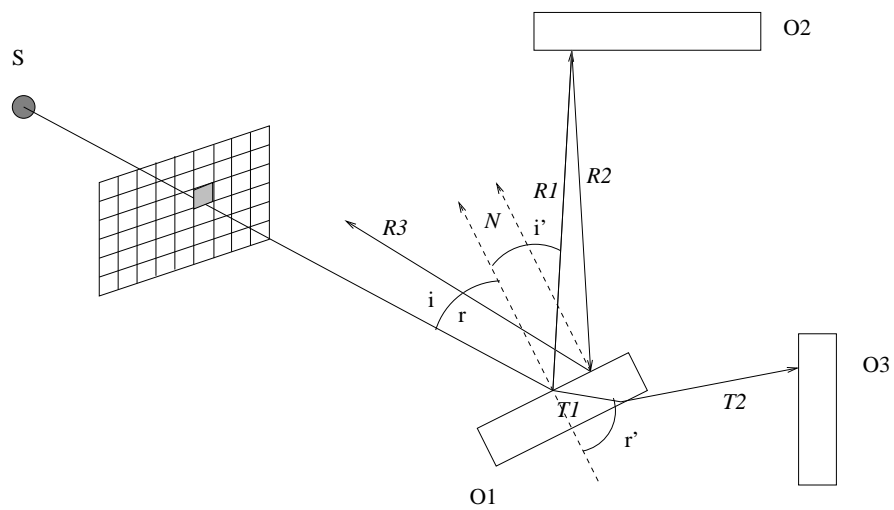


FIGURE 3 – Réflexion et transparence.

Phong et de Blinn dont voici les principales composantes, les angles utilisés étant illustrés par la Figure 4.

2.1 Composante ambiante

La composante ambiante ne dépend que de la nature de l'objet éclairé et de l'intensité de la lumière ambiante I_a (valeur moyenne de l'éclairement) :

$$E_a = K_a I_a$$

Le paramètre K_a correspond à l'absorption de la lumière par l'objet.

2.2 Composante diffuse

La composante diffuse correspond à l'effet de la loi de Lambert, l'éclairement est d'autant plus faible qu'il est rasant sur la surface de l'objet. Elle dépend de l'angle d'incidence de la source de lumière par rapport à la normale de l'objet et de la nature de l'objet :

$$E_d = K_d(I_{L_1} \cos(l_1) + I_{L_3} \cos(l_3))$$

La source de lumière L_2 n'est pas considérée car elle est cachée par l'objet O_2 .

Le paramètre K_d correspond à l'absorption de la lumière par l'objet.

2.3 Composante spéculaire

La composante spéculaire correspond au fait que l'intensité est maximale quand l'utilisateur se trouve dans la direction réfléchi par rapport à la source de lumière. Elle tient compte des propriétés de réflectance et de brillance de la surface de l'objet :

$$E_s = W(l_1)E_{L_1} \cos^n(s_1) + W(l_3)I_{L_3} \cos^n(s_3)$$

La source de lumière L_2 n'est pas considérée car elle est cachée par l'objet O_2 .

Le paramètre $W(i)$ correspond à la réflectance de l'objet alors que n correspond à la brillance de celui-ci. Attention, ce n n'est pas le même que l'indice de réfraction de l'objet.

2.4 Composantes réfléchi et réfractée

Les composantes réfléchi et réfractée correspondent à l'apport des rayons réfléchi et réfracté à la couleur du point d'intersection :

$$\begin{aligned} E_r &= K_r I_r \\ E_t &= K_t I_t \end{aligned}$$

Les paramètres K_r et K_t correspondent respectivement à la quantité de lumière réfléchi et réfractée.

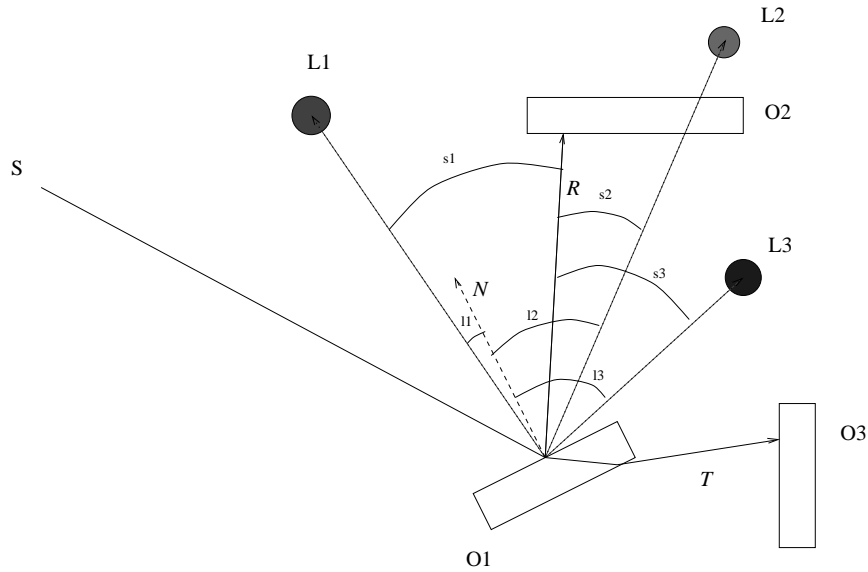


FIGURE 4 – Angles utilisés dans le modèle de lumière.

2.5 Bilan des composantes

La lumière reçue par le point d'intersection est donc égale à :

$$E = K_a I_a + K_r I_r + K_t I_t + (K_d \cos(l_1) + W(l_1) \cos^n(s_1)) I_{L_1} + (K_d \cos(l_3) + W(l_3) \cos^n(s_3)) I_{L_3}$$

La source de lumière L_2 n'est pas considérée car elle est cachée par l'objet O_2 .

2.6 Modélisation des couleurs

Une couleur ne peut pas être représentée par une simple valeur numérique. Le modèle RVB (Rouge, Vert, Bleu) considère que chaque couleur est la somme de trois lumières rouge, verte et bleue dont les différentes intensités permettent d'obtenir l'ensemble des couleurs. Une couleur est donc caractérisée par trois valeurs comprises entre 0 et 1 qui correspondent aux intensités des composantes rouge, verte et bleue. Les intensités sont perçues de manière logarithmique, nous vous proposons donc d'utiliser la formule suivante pour composer deux couleurs :

$$\begin{aligned} (R, V, B) &= (R_1, V_1, B_1) + (R_2, V_2, B_2) \\ R &= R_1 \oplus R_2 = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) \\ V &= V_1 \oplus V_2 = 1 - (1 - V_1)(1 - V_2) \\ B &= B_1 \oplus B_2 = 1 - (1 - B_1)(1 - B_2) \end{aligned}$$

Les trois composantes d'une couleur peuvent donc être traitées séparément lors du calcul de la couleur des rayons. Chaque constante associée aux propriétés d'un objet se décompose donc en trois valeurs. La couleur d'un rayon est donc déterminée par :

$$\begin{aligned}
E_R &= K_{a_R} I_{a_R} \oplus K_{r_R} I_{r_R} \oplus K_{t_R} I_{t_R} \oplus (K_{d_R} \cos(l_1) + W_R(l_1) \cos^{n_R}(s_1)) I_{L_{1R}} \oplus (K_{d_R} \cos(l_3) + W_R(l_3) \cos^{n_R}(s_3)) I_{L_{3R}} \\
E_V &= K_{a_V} I_{a_V} \oplus K_{r_V} I_{r_V} \oplus K_{t_V} I_{t_V} \oplus (K_{d_V} \cos(l_1) + W_V(l_1) \cos^{n_V}(s_1)) I_{L_{1V}} \oplus (K_{d_V} \cos(l_3) + W_V(l_3) \cos^{n_V}(s_3)) I_{L_{3V}} \\
E_B &= K_{a_B} I_{a_B} \oplus K_{r_B} I_{r_B} \oplus K_{t_B} I_{t_B} \oplus (K_{d_B} \cos(l_1) + W_B(l_1) \cos^{n_B}(s_1)) I_{L_{1B}} \oplus (K_{d_B} \cos(l_3) + W_B(l_3) \cos^{n_B}(s_3)) I_{L_{3B}}
\end{aligned}$$

Nous pouvons remarquer que les différentes caractéristiques des objets sont spécifiques à chaque couleur primaire.

3 Modélisation des objets

Il existe différentes méthodes pour appréhender les objets composant une scène. Nous présentons ici les deux approches les plus utilisées.

3.1 Modèle naturel

Le modèle naturel consiste à considérer chaque objet comme une entité différente avec ses propres équations pour déterminer les intersections avec un rayon et les normales.

3.1.1 Sphère

Voici les formules concernant une sphère de centre C et de rayon R . Nous considérons un rayon partant de S dans la direction \vec{d} :

Intersection : on a

$$\Delta = R^2 + (\vec{d} \mid \vec{SC})^2 - \|\vec{SC}\|^2,$$

si $\Delta \geq 0$ alors il existe

$$\begin{aligned}
t_1 &= (\vec{d} \mid \vec{SC}) - \sqrt{\Delta} \text{ et} \\
t_2 &= (\vec{d} \mid \vec{SC}) + \sqrt{\Delta}
\end{aligned}$$

le point d'intersection est le point calculé par $P = S + t\vec{d}$ avec t le plus petit des (t_1, t_2) positifs.

Normale : $\vec{N} = \frac{\vec{CP}}{R}$

3.1.2 Plan infini

Un plan est caractérisé par trois points non colinéaires P_0 , P_1 et P_2 . Nous considérons un rayon partant du point S dans la direction \vec{d} . Soit I le point d'intersection du rayon avec le plan alors :

$$\begin{aligned}
\vec{P_0 I} &= \alpha \vec{P_0 P_1} + \beta \vec{P_0 P_2} \\
\vec{S I} &= \gamma \vec{d} = \vec{S P_0} + \vec{P_0 I} \\
\gamma \vec{d} &= \vec{S P_0} + \alpha \vec{P_0 P_1} + \beta \vec{P_0 P_2}
\end{aligned}$$

d'où le système :

$$\begin{pmatrix} x_1 - x_0 & x_2 - x_0 & -x_d \\ y_1 - y_0 & y_2 - y_0 & -y_d \\ z_1 - z_0 & z_2 - z_0 & -z_d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_S - x_0 \\ y_S - y_0 \\ z_S - z_0 \end{pmatrix}$$

Si le déterminant du système est nul, il n'y a pas d'intersection, le plan est donc parallèle au rayon dans la grande majorité des cas (le rayon peut aussi appartenir au plan mais ce cas là est négligeable).

Si le déterminant n'est pas nul, la solution du système est $(\alpha_I, \beta_I, \gamma_I)$. Le point I est obtenu par $I = S + \gamma_I \vec{d}$. La normale est obtenue par $\vec{N} = P_0 \vec{P}_1 \wedge P_0 \vec{P}_2$ (\wedge est le produit vectoriel).

3.2 Modèle à base de facettes

Le modèle à base de facettes consiste à considérer chaque objet comme un ensemble de facettes. Il suffit donc de disposer de procédures de traitement de facettes et de procédures de génération de la liste des facettes pour les objets standards. Ce modèle permet de gérer des objets complexes dès que l'on sait engendrer la liste des facettes en s'affranchissant de calculs mathématiques complexes. Par contre, un nombre important de facettes augmente le nombre de calculs d'intersections et nécessite des techniques d'optimisation.

Une facette est délimitée par trois points non colinéaires P_0 , P_1 et P_2 . Elle est similaire à un plan infini pour la recherche de l'intersection avec un rayon et le calcul de la normale. Si le rayon rencontre le plan infini, il touche la facette si $\alpha_I \in [0, 1]$ et $\beta_I \in [0, 1 - \alpha_I]$.

4 Le format de fichier PPM texte

Le format de fichier *Portable PixMap* est conçu pour simplifier la description d'images couleurs. Il est composé des informations suivantes : la chaîne constante P3 qui identifie le format, sur la ligne suivante le nombre de points par ligne suivi du nombre de lignes (ces deux chiffres sont séparés par un espace), sur la ligne suivante la valeur associée à l'intensité maximale et enfin les couleurs de chaque point représentées par un triplet de nombres séparés par des espaces.

```
P3
# test.ppm
4 4
15
0 0 0 0 0 0 0 0 0 15 0 15
0 0 0 0 15 7 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 15 7 0 0 0
15 0 15 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

Les fichiers image codés avec ce format peuvent être visualisés avec le programme eog.

5 Logiciel à réaliser

Le logiciel sera composé de deux parties :

- La saisie interactive des caractéristiques d'une scène,
- Le calcul de l'image associée à une scène.

5.1 Saisie interactive d'une scène

Une scène est caractérisée par la lumière ambiante, les sources de lumière et les objets composant la scène.

Les scènes seront composées d'objets en trois dimensions : sphères, plans infinis et cubes composés de facettes. Chaque objet sera caractérisé par ses propriétés d'absorption, de réflexion et de réfraction.

La procédure de saisie devra permettre la description d'une nouvelle scène, la modification d'une scène existante, la sauvegarde et la lecture d'une scène existante. On utilisera deux techniques : la sérialisation à travers les méthodes `readObject` et `writeObject` de la bibliothèque JAVA d'une part, et le langage XML d'autre part.

La procédure de saisie sera réalisée avec l'interface graphique SWING. L'ensemble de la scène devra pouvoir être affichée dans un format texte depuis le programme principal.

L'interface SWING contiendra en particulier la liste des objets et des sources composant la scène pour permettre la modification des éléments composant cette scène.

5.2 Calcul d'une image

Une image est caractérisée par un point de vue et un écran.

La procédure de synthèse d'images devra prendre en compte l'élimination des parties cachées, les ombres portées, la réflexion et la transparence. Ces quatre parties de l'algorithme du lancer de rayon devront être réalisées l'une après l'autre de manière à simplifier la mise au point du logiciel.

La procédure de synthèse doit afficher l'image calculée dans une fenêtre graphique SWING au fur et à mesure du calcul de l'image.

L'utilisateur doit pouvoir définir simultanément plusieurs vues (plusieurs points de vue et écrans) pour une même scène. Bien entendu, chaque modification de la scène doit être répercutée sur chacune de ses vues.

L'utilisateur pourra demander la sauvegarde d'une vue sous la forme d'un fichier PPM texte qui contient l'image synthétisée de la scène correspondante.

5.3 Description XML

Des exemples de scène d'une part et l'écran et le point de vue d'autre part pourront vous être fournis sous la forme de fichiers XML. La structure de ces deux types de documents XML vous sera communiquée ultérieurement.

Votre application graphique devra permettre de charger une scène à partir d'un fichier XML. Il en est de même pour la description de l'écran et du point de vue.

Une application en ligne de commande et non interactive doit être écrite. Elle prend deux arguments obligatoires. Le premier correspond au nom du fichier qui contient la description de la scène, le second au nom du fichier décrivant l'écran et le point de vue. Un troisième paramètre optionnel permet d'indiquer le nom du fichier dans lequel l'image calculée sera enregistrée. Si le troisième paramètre est omis, l'image sera enregistrée dans un fichier nommé « output.ppm ».

6 Déroulement du projet

6.1 Contraintes sur le développement

Les contraintes sur le développement à respecter impérativement sont les suivantes :

- C₁ Le projet se déroulera en groupe de quatre ou cinq personnes d'un même groupe de TD. Les groupes seront définis par les enseignants.
- C₂ Le projet doit fonctionner sans aucune modification sur les machines Linux des salles de TP du 2ème étage du bâtiment C de l'ENSEEIH.
- C₃ Les principes énoncés en cours et étudiés en TD et TP doivent être respectés lors de la réalisation de ce projet.
- C₄ Les divers outils vus en TOB ou OGL devront être utilisés s'ils peuvent être utiles pour la réalisation du projet.

6.2 Principales dates

Chaque vendredi (ou fin de semaine) Un membre du groupe (le chef de projet) devra envoyer un état d'avancement à l'enseignant responsable de son groupe (le chargé de TD) sous la forme d'un message électronique, court et précis, indiquant, pour chaque membre de l'équipe, ce qui a été fait dans la semaine et ce qui est prévu pour la semaine suivante.

Ce travail sera présenté sous la forme de tâches de granularité fine avec un moyen d'en évaluer l'accomplissement (par exemple, l'écriture d'un document, d'une classe, la réalisation d'un test, etc).

vendredi 22 avril 2009, 16h. Distribution du sujet du projet.

vendredi 15 mai 2009, 8h. Remise du rapport d'analyse.

Le rapport d'analyse sera déposé dans le casier 1IN correspondant à votre groupe.

Une version électronique de ce rapport devra aussi être rendu suivant des modalités qui seront publiées sur le site Web du module.

Le rapport d'analyse doit montrer votre compréhension du sujet. Il doit comprendre :

1. un diagramme de cas d'utilisation (et une explication textuelle des principaux cas d'utilisation) ;
2. quelques scénarios d'utilisation de l'application ;
3. un diagramme de classe d'analyse faisant apparaître les classes du domaine métier ;
4. vous pouvez également utiliser les diagrammes de séquence, les diagrammes de machine à états et les diagrammes d'activité ;
5. l'interface utilisateur que vous envisagez développer devra être présentée. Il s'agit de faire un schéma informel des éléments de l'interface graphique pour montrer les informations qui seront présentées à l'utilisateur et les manières qu'il aura de manipuler l'outil.
6. la démarche retenue pour développer et tester l'application

7. le rapport se terminera par une présentation des tâches que vous avez identifiées pour le déroulement du projet et l'implication de chaque membre de l'équipe sur ces tâches.

Ce rapport doit également contenir tous les choix que vous avez faits pour lever les éventuelles ambiguïtés du sujet.

Semaine du 18 au 22 mai 2009. Revue d'analyse.

Pendant le TD de Technologie Objet, un point d'avancement sera réalisé. Il portera essentiellement sur le rapport d'analyse. Vous devrez présenter oralement le contenu de votre mémoire. Cette présentation n'est pas formelle (pas de vidéo-projecteur ni de rétro-projecteur) mais permettra de démarrer la discussion sur la solution que vous proposez et la manière d'organiser votre projet.

Vendredi 12 juin 2009, 18 heures. Remise des sources du projet et du rapport final.

Le rapport final sera déposé dans le casier 11N correspondant à votre groupe.

Les modalités de remise de la version électronique du rapport et des sources seront publiées sur le site Web de TOB.

Vous devrez mentionner votre numéro de groupe sur la première page du rapport écrit.

Le rapport final est un **rapport complet**. Il doit en particulier comprendre une partie analyse. Les modifications apportées par rapport au rapport d'analyse devront être expliquées et justifiées. Le rapport final devra comprendre les éléments suivants :

- la modélisation UML du problème posé ;
- les choix de conception et/ou implantation réalisés ;
- les changements par rapport au document d'analyse en les justifiant ;
- l'organisation du projet ;
- toute information utile à la compréhension du travail réalisé.

Attention : Les points listés ci-dessus ne constituent en aucun cas un plan pour le rapport. Il s'agit simplement d'une liste d'éléments qui doivent être présents dans le rapport final.

En annexe du rapport final, vous donnerez le texte ¹ de 3 à 5 classes de votre application. Vous expliquerez pourquoi vous avez choisi ces classes.

Mercredi 17 juin 2008, 10h. Remise de la présentation.

Les modalités de remise seront publiées sur le site Web du module TOB.

Mercredi 17 juin 2009, de 14 à 18 heures. Présentation orale du projet et test du projet.

Deux listes de passages seront définies, l'une pour la présentation orale, l'autre pour le test.

Les modalités seront publiées sur le site Web du module TOB.

1. Il est conseillé d'utiliser la commande a2ps.