

Chapitre 4 - Les caractéristiques de la diffusion de la lumière par des particules colloïdales d'argent et de cuivre

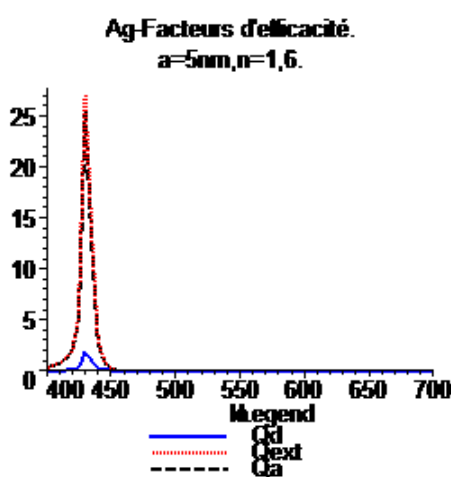
4-1 – Variations des facteurs d'efficacité en fonction de la longueur d'onde. Dépendance angulaire de la lumière diffusée

Les résultats de la théorie de Mie appliqués à des particules colloïdales d'argent et de cuivre, assimilées à des sphères, permettent de préciser les facteurs d'efficacité et la dépendance angulaire de l'intensité diffusée par chaque inclusion en fonction de son rayon et de l'indice de réfraction de la matrice vitreuse.

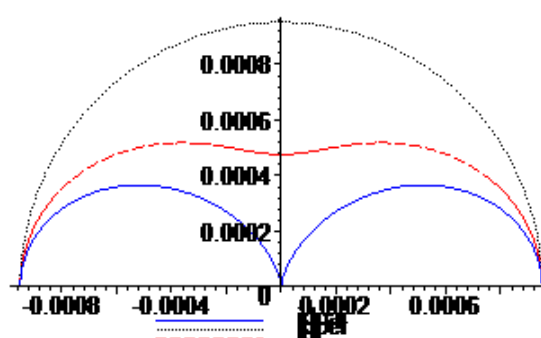
Nous considérons successivement des sphères colloïdales d'argent et de cuivre, de rayons 5, 10, 20, 30, 50, 70 et 150 nm, plongées dans une glaçure transparente d'indice 1,6. Pour chaque exemple, nous donnons les variations des facteurs d'efficacité d'extinction, de diffusion et d'absorption en fonction de la longueur d'onde ainsi que la représentation polaire de l'intensité diffusée par unité d'intensité incidente non polarisée et de longueur d'onde $\lambda_0 = 435$ nm pour l'argent et 540 nm pour le cuivre.

❖ Sphères d'argent ($Q_f(\lambda_0)$ P_a if(th) Ag) (Intitulé du programme Maple)

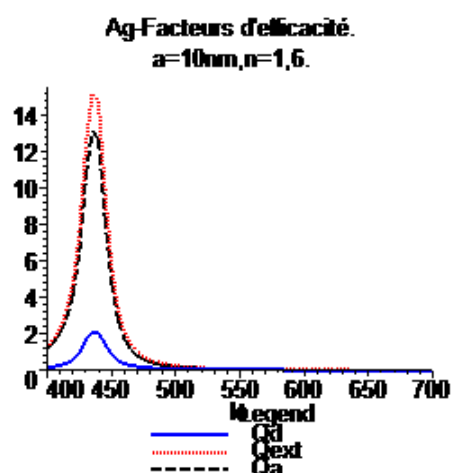
- Rayon $a = 5$ nm



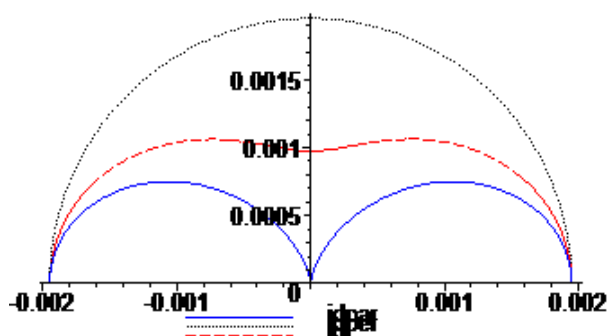
Ag-Dépendance angulaire. $a=5\text{nm}, r=20a, \lambda_0=435\text{nm}.$



- Rayon $a = 10$ nm

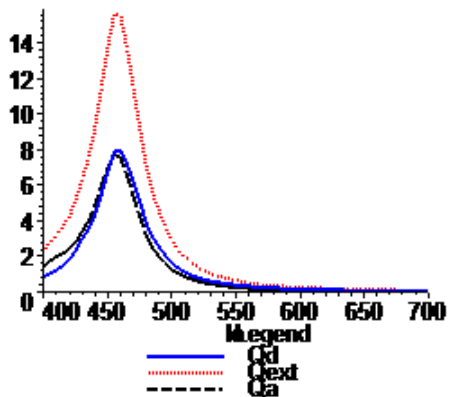


Ag-Dépendance angulaire. $a=10\text{nm}, r=20a, \lambda_0=435\text{nm}.$

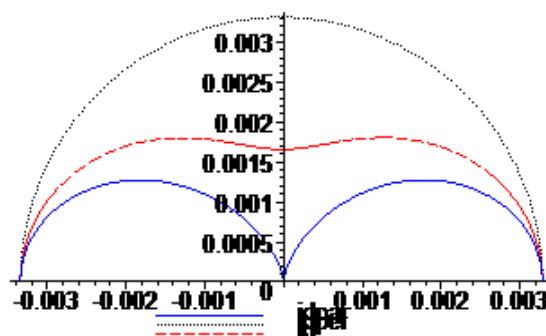


- Rayon $a = 20 \text{ nm}$

Ag-Facteurs d'efficacité.
 $a=20\text{nm}, n=1,6.$

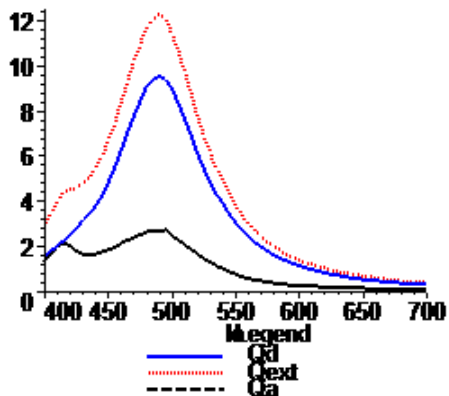


Ag-Dépendance angulaire $a=20\text{nm}, r=20a, l_0=435\text{nm}.$

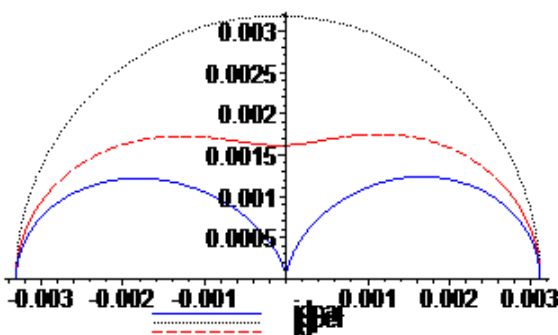


- Rayon $a = 30 \text{ nm}$

Ag-Facteurs d'efficacité.
 $a=30\text{nm}, n=1,6.$

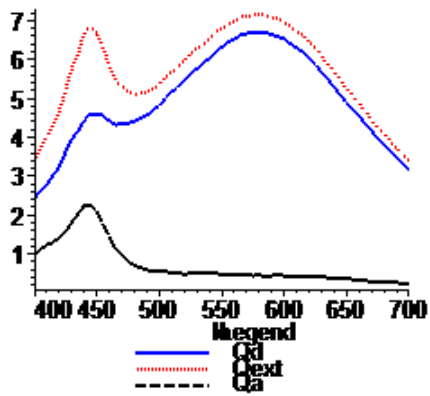


Ag-Dépendance angulaire $a=30\text{nm}, r=20a, l_0=435\text{nm}.$

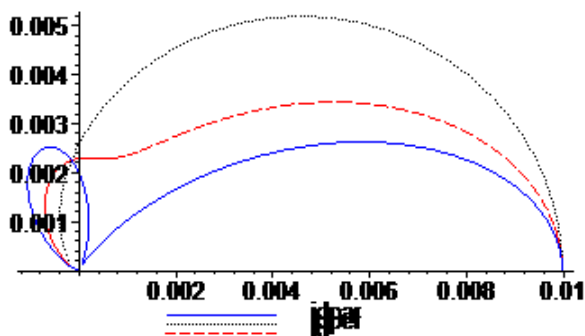


- Rayon $a = 50 \text{ nm}$

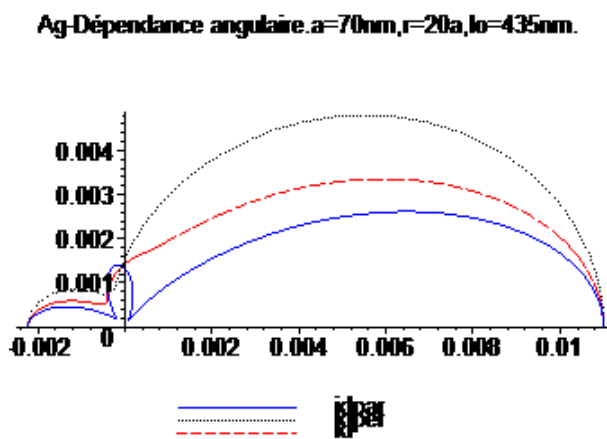
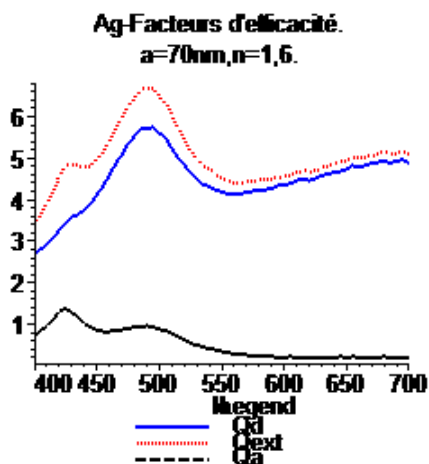
Ag-Facteurs d'efficacité.
 $a=50\text{nm}, n=1,6.$



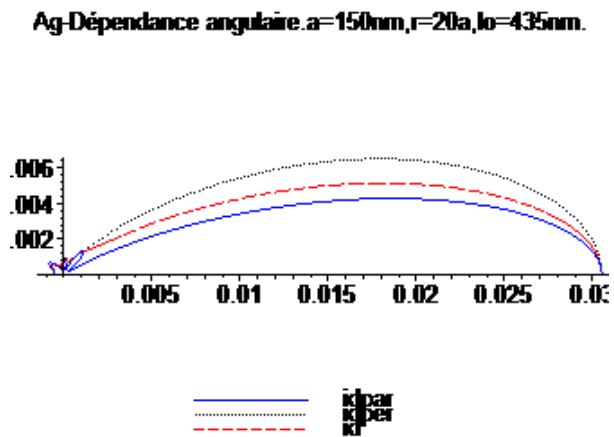
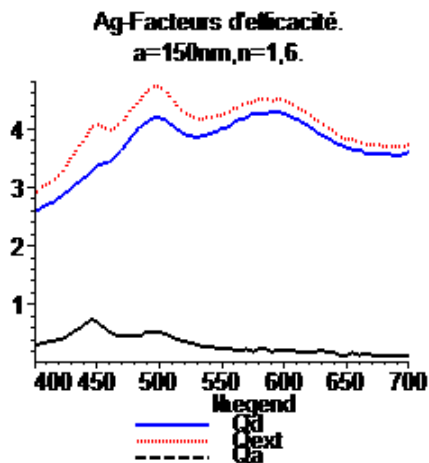
Ag-Dépendance angulaire $a=50\text{nm}, r=20a, l_0=435\text{nm}.$



- Rayon $a = 70 \text{ nm}$

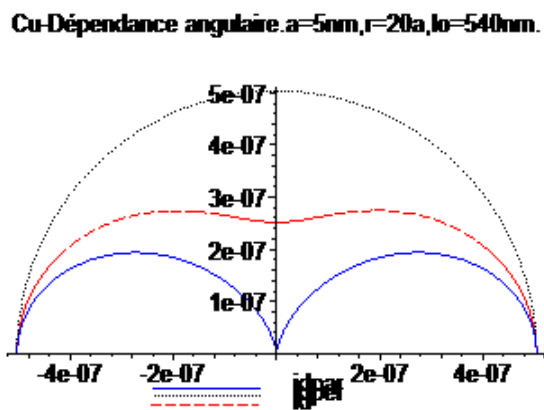
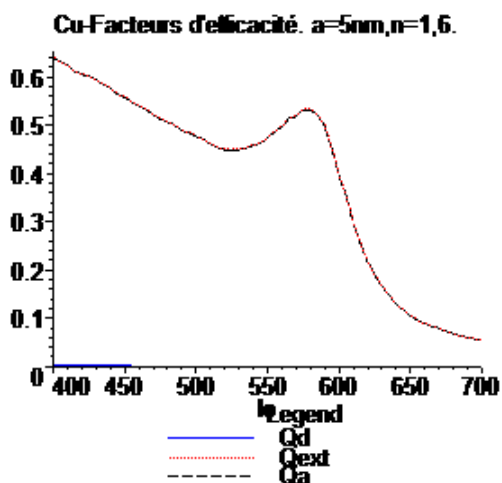


- Rayon $a = 150 \text{ nm}$

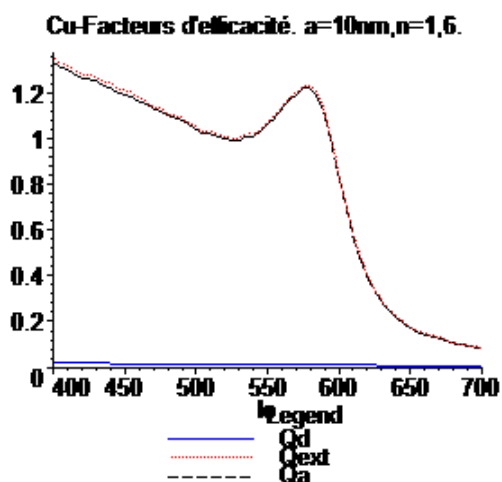


❖ **Sphères de cuivre (Qf(l₀) Pa if(th) Cu)**

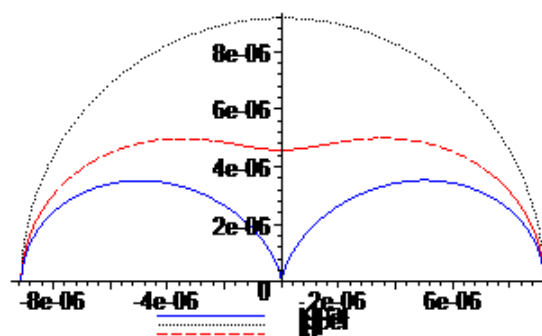
- Rayon $a = 5 \text{ nm}$



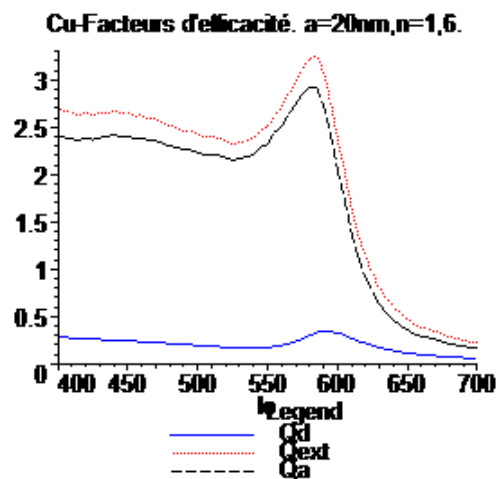
- Rayon $a = 10 \text{ nm}$



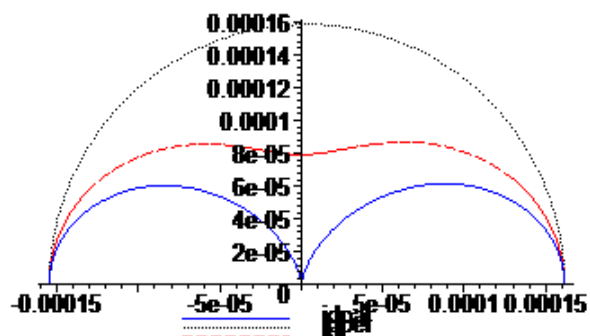
Cu-Dépendance angulaire. $a=10\text{nm}, r=20a, l_0=540\text{nm}$.



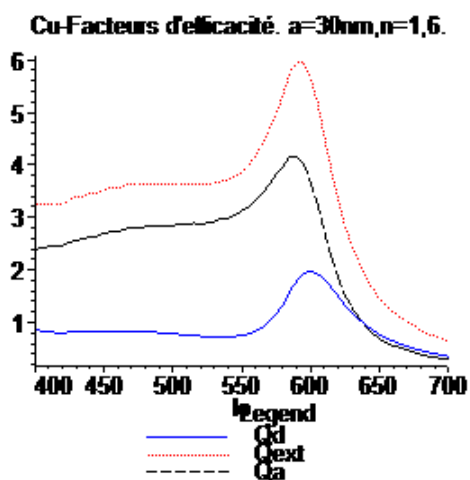
- Rayon $a = 20 \text{ nm}$



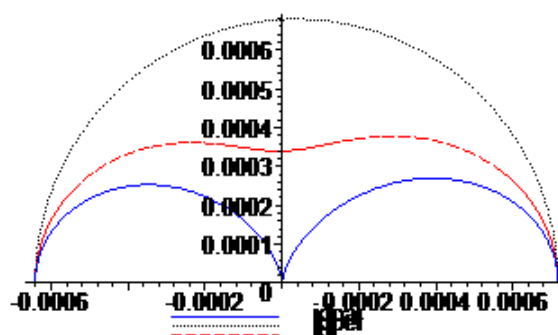
Cu-Dépendance angulaire. $a=20\text{nm}, r=20a, l_0=540\text{nm}$.



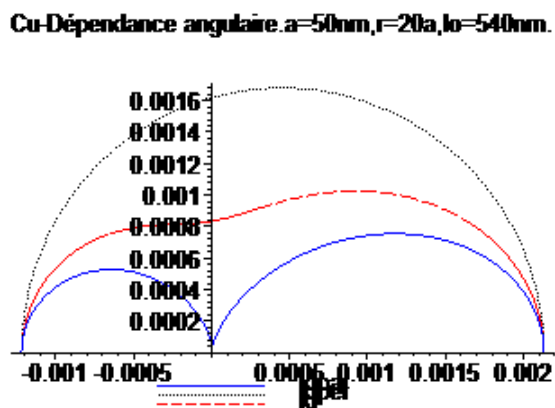
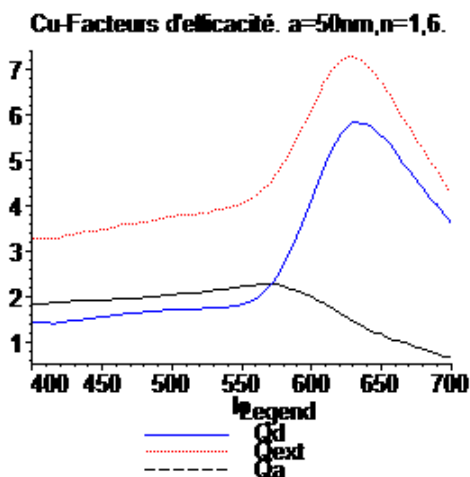
- Rayon $a = 30 \text{ nm}$



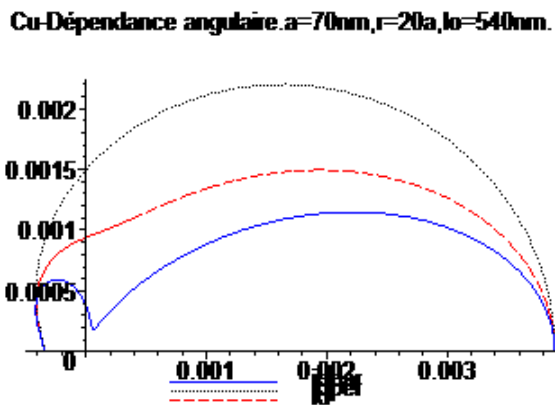
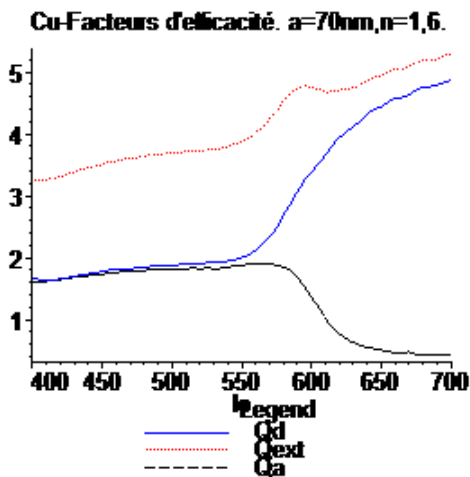
Cu-Dépendance angulaire. $a=30\text{nm}, r=20a, l_0=540\text{nm}$.



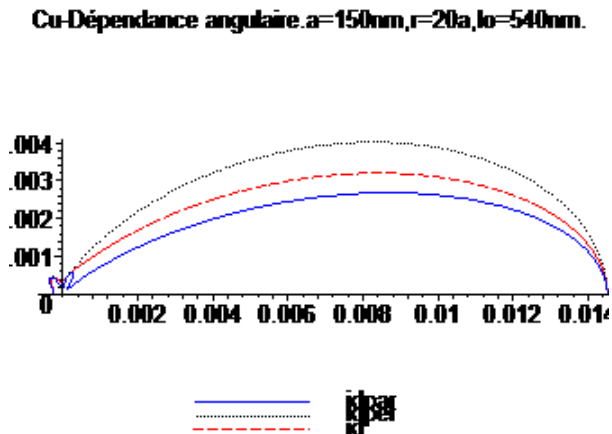
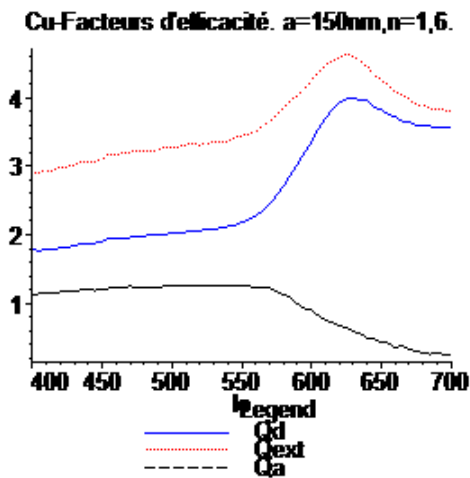
▪ Rayon $a = 50 \text{ nm}$



▪ Rayon $a = 70 \text{ nm}$



▪ Rayon $a = 150 \text{ nm}$

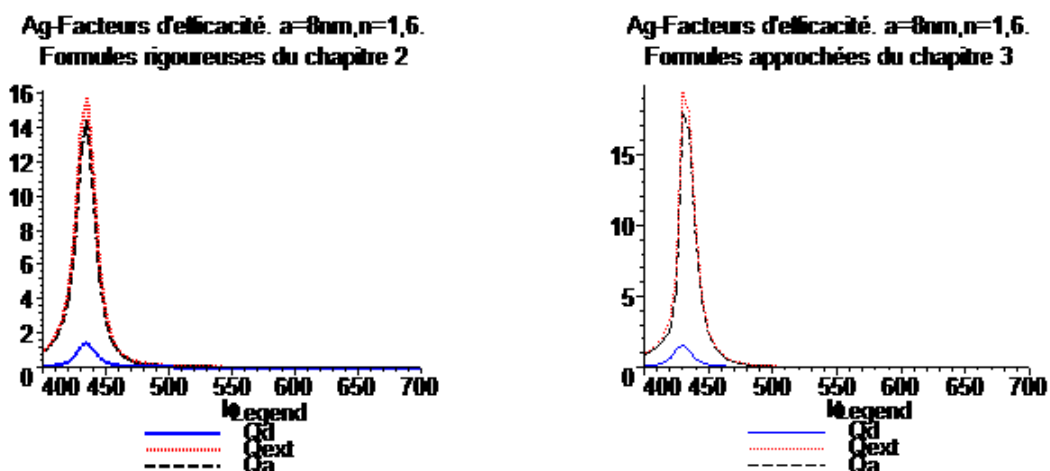


Premiers constats :

- La diffusion, l'absorption et donc l'extinction de la lumière incidente varient avec la longueur d'onde. C'est ce qui explique la coloration des phénomènes optiques observés en présence de colloïdes d'argent et de cuivre inclus dans des verres ou glaçures.
- Pour les sphères de rayon très faible devant la longueur d'onde, les pics très prononcés mettent clairement en évidence des **phénomènes de résonance** sur lesquels nous reviendrons.
- L'intensité diffusée i_d (par unité d'intensité incidente non polarisée) ne dépend pas, bien sûr, de l'angle azimutal φ : l'axe Oz, suivant la propagation de la lumière incidente, est un axe de révolution. Mais i_d varie avec l'angle θ . Pour les sphères de rayon très faible, i_d diminue au voisinage de $\theta = \frac{\pi}{2}$ et il y a symétrie par rapport au plan xOy (due à la parité de $\cos \theta$) c'est-à-dire que les intensités diffusées dans les directions avant ($\theta=0$) et arrière ($\theta=\pi$) sont approximativement égales. Lorsque a augmente, i_d n'est plus uniquement fonction de $\cos^2\theta$. L'intensité diffusée dans la direction avant devient largement prépondérante.
- En ce qui concerne le **domaine de validité des formules approchées**, établies au chapitre 3 pour les sphères de rayon a très inférieur à la longueur d'onde, les résultats sont très proches de ceux obtenus avec les expressions rigoureuses jusqu'aux valeurs de a de l'ordre de 8 nm pour l'argent, et 20 nm pour le cuivre, les écarts relatifs restant approximativement inférieurs à 10 %. Au-delà, des différences significatives apparaissent.

► **Sphères d'argent (Qf(lo) Pa if(th) Ag et Qf(lo) Pa if(th) Ag a petit)**

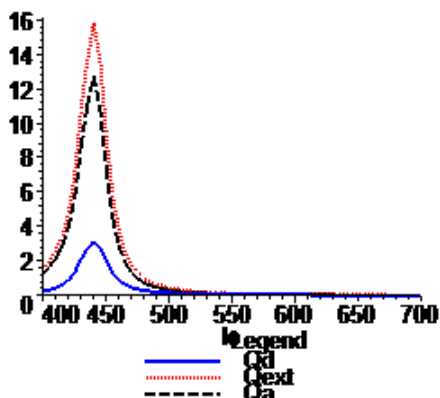
- Rayon $a = 8$ nm



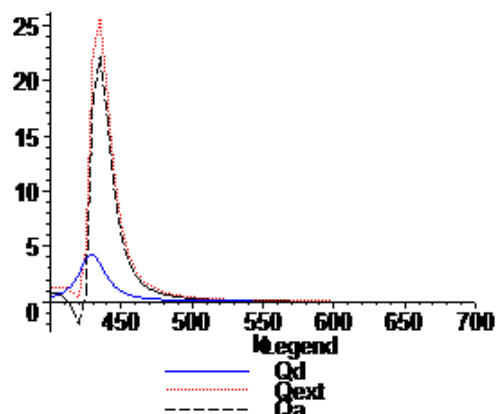
Les pics des Q_{ext} culminent respectivement à 16 et 19.

- Rayon $a = 12 \text{ nm}$

Ag-Facteurs d'efficacité. $a=12\text{nm}, n=1,6$.
Formules rigoureuses du chapitre 2



Ag-Facteurs d'efficacité. $a=12\text{nm}, n=1,6$.
Formules approchées du chapitre 3

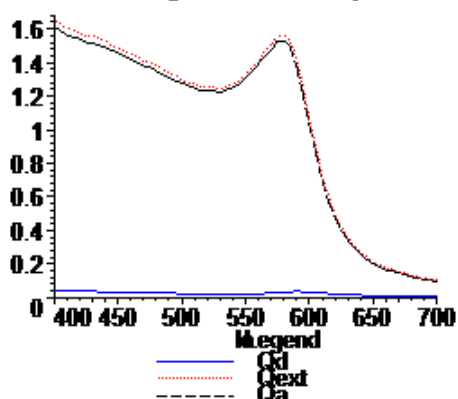


Les pics des Q_{ext} culminent respectivement à 16 et 25.

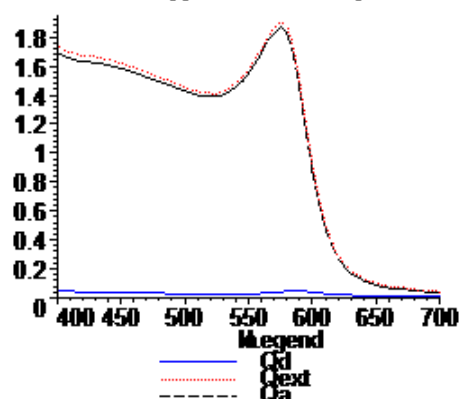
► Sphères de cuivre (Qf(lo) Pa if(th) Cu et Qf(lo) Pa if(th) Cu a petit)

- Rayon $a = 12 \text{ nm}$

Cu-Facteurs d'efficacité. $a=12\text{nm}, n=1,6$.
Formules rigoureuses du chapitre 2



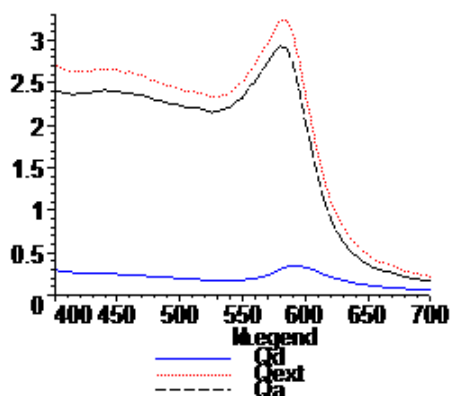
Cu-Facteurs d'efficacité. $a=12\text{nm}, n=1,6$.
Formules approchées du chapitre 3



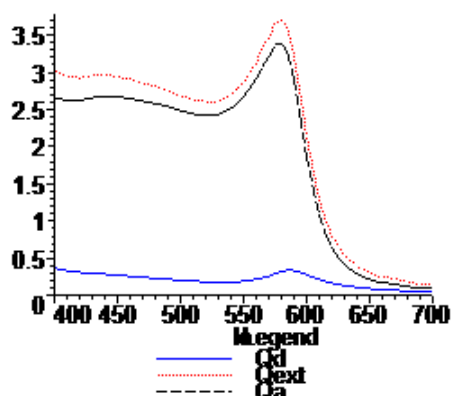
Les deux figures sont pratiquement identiques.

- Rayon $a = 20 \text{ nm}$

Cu-Facteurs d'efficacité. $a=20\text{nm}, n=1,6$.
Formules rigoureuses du chapitre 2



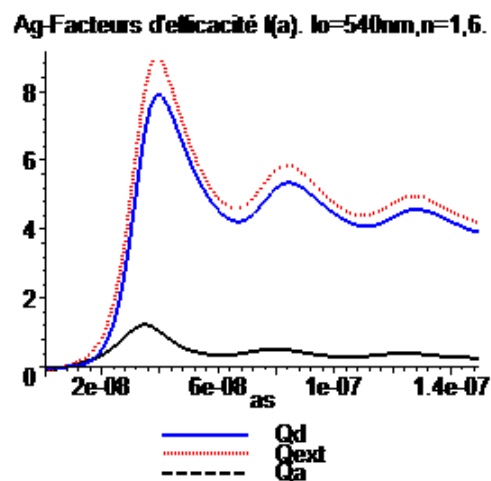
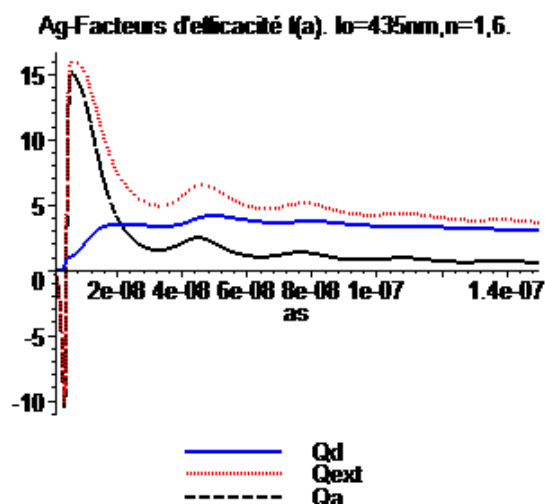
Cu-Facteurs d'efficacité. $a=20\text{nm}, n=1,6$.
Formules approchées du chapitre 3



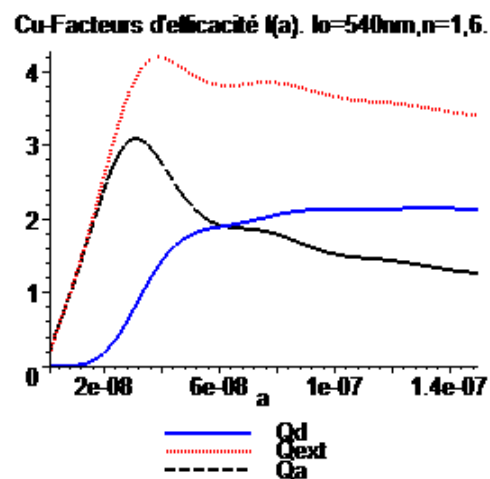
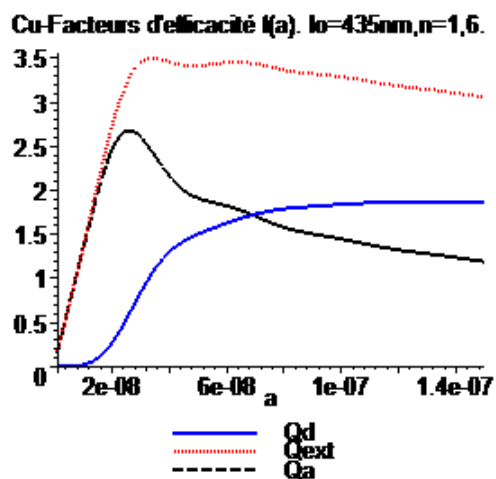
4-2 – Variations des facteurs d'efficacité en fonction du rayon

Nous donnons ci-dessous les courbes représentant les variations des facteurs d'efficacité en fonction des rayons de sphères d'argent et de cuivre, sur l'intervalle (1 – 150 nm) et pour les longueurs d'onde 435 et 540 nm.

❖ Sphères d'argent (Qf(a) Pa Ag)



❖ Sphères de cuivre (Qf(a) Pa Cu)



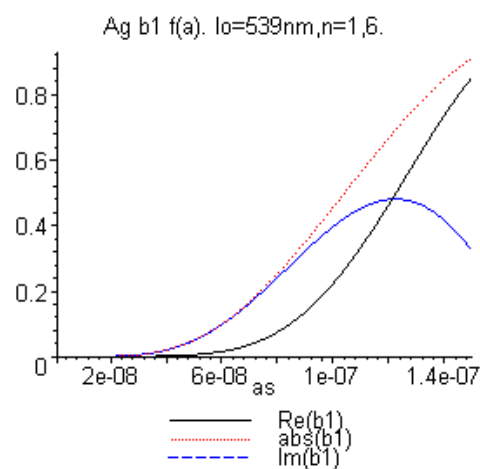
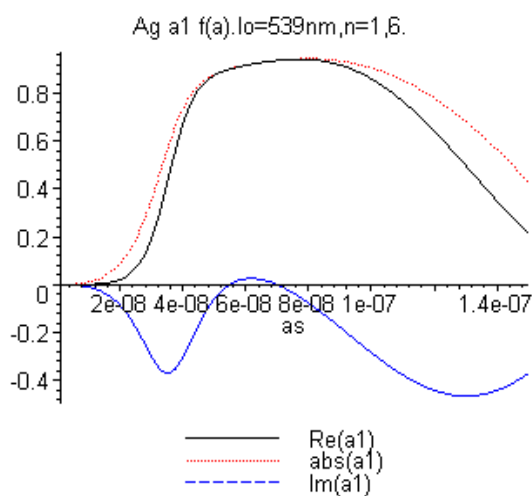
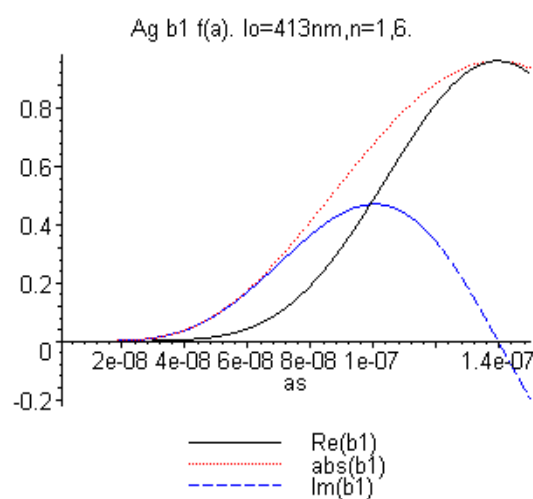
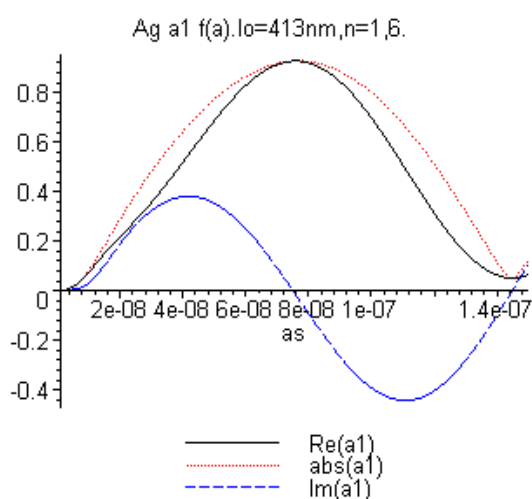
4-3 – Les coefficients de diffusion a_n et b_n

Les variations de a_1 et b_1 en fonction du rayon de la sphère

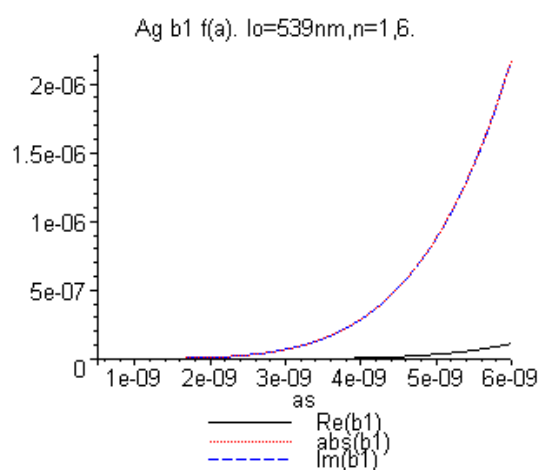
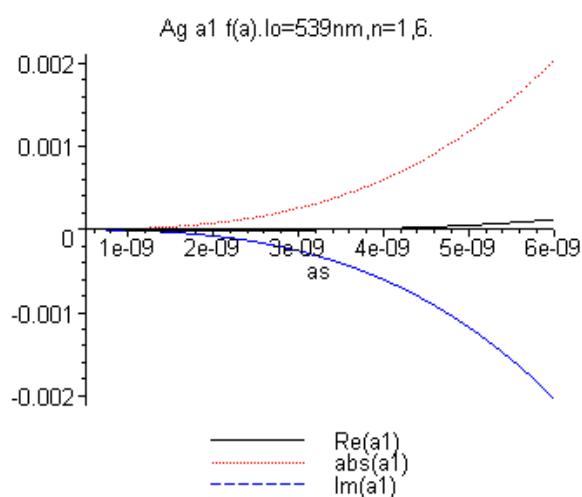
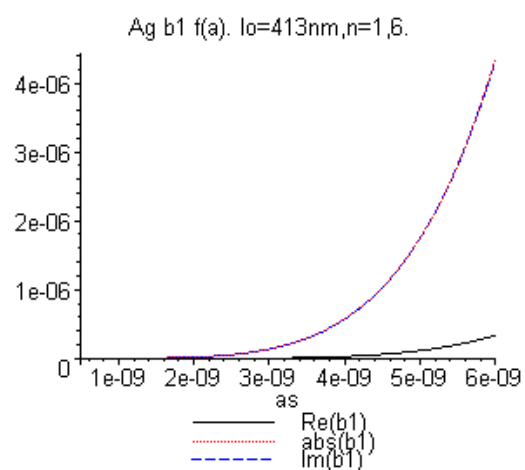
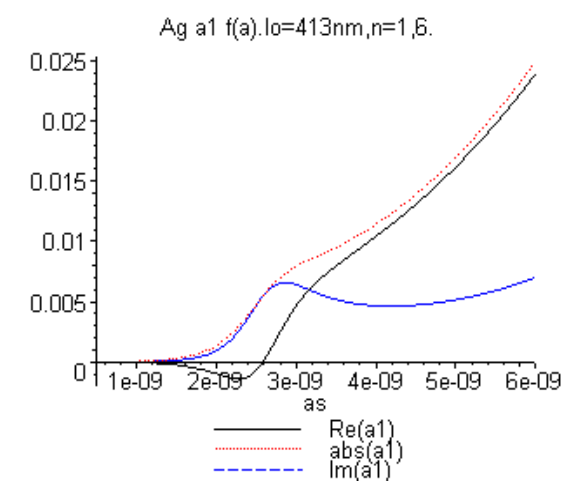
Nous reprendrons les exemples présentés au chapitre 4 : des sphères colloïdales d'argent et de cuivre plongées dans une glaçure transparente d'indice 1.6 pour les longueurs d'onde 413 et 539 nm.

❖ Sphères d'argent (an bnf(a) Ag)

► a variant de 1 à 150 nm

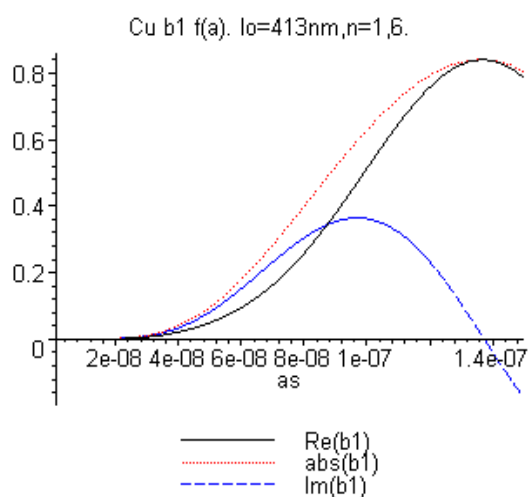
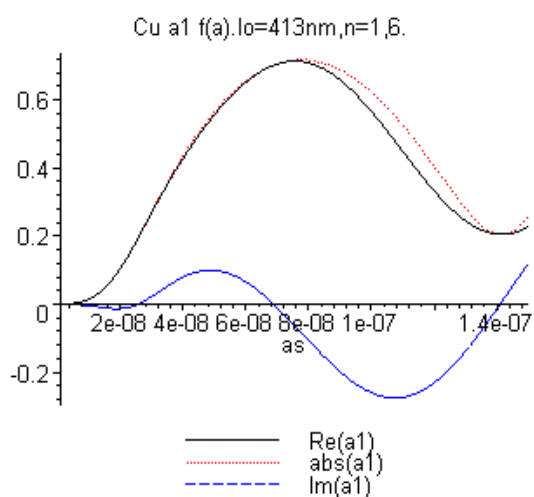


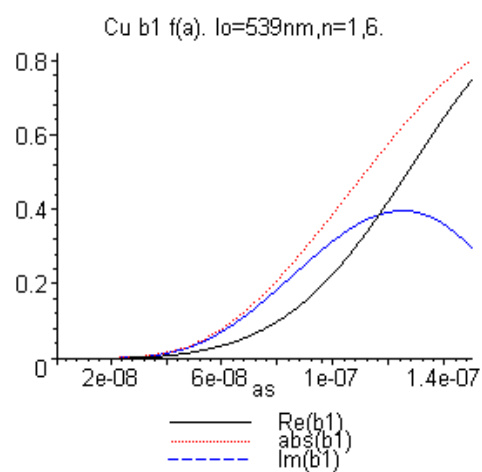
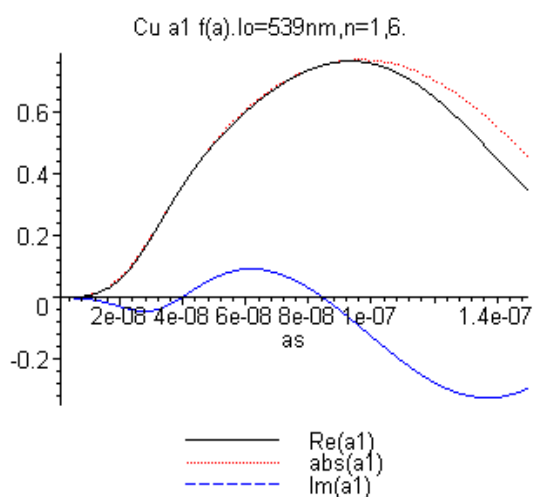
► a variant de 0.5 à 6 nm



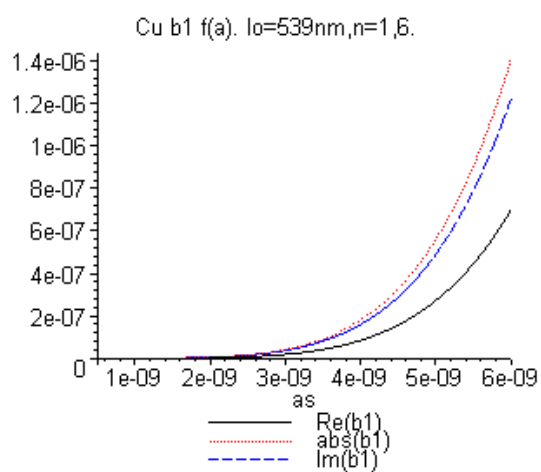
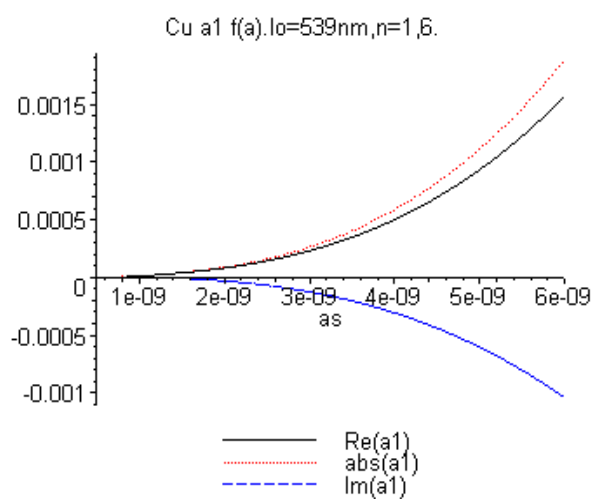
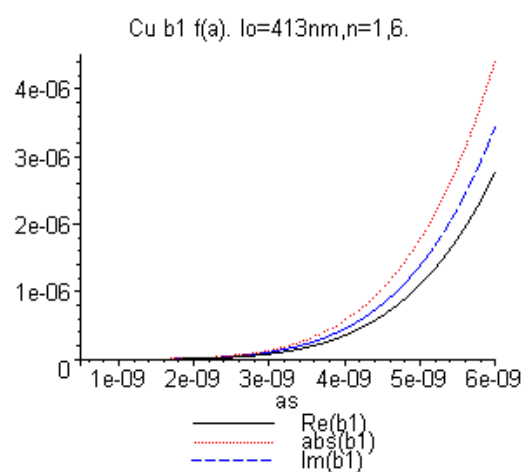
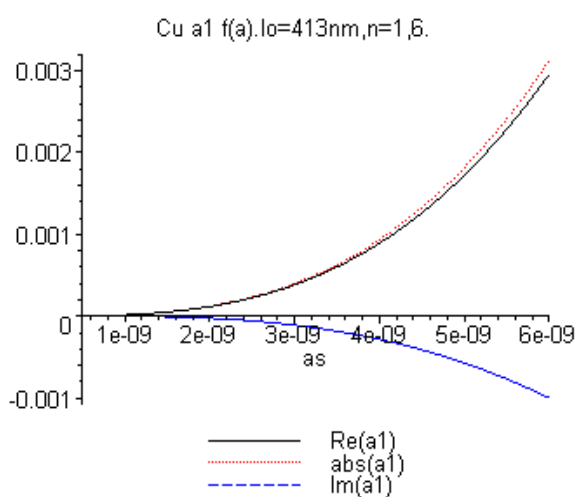
❖ Sphères de cuivre (an bnf(a) Cu)

► a variant de 1 à 150 nm



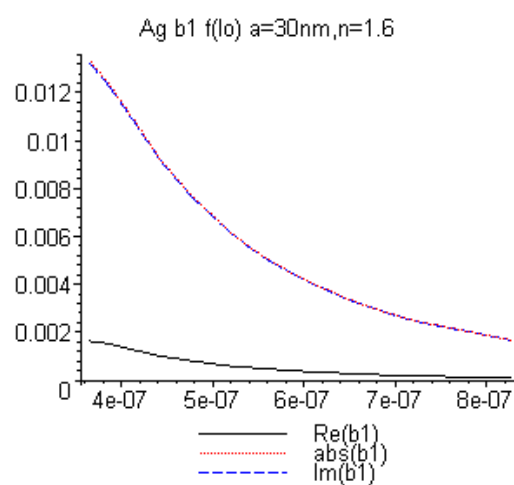
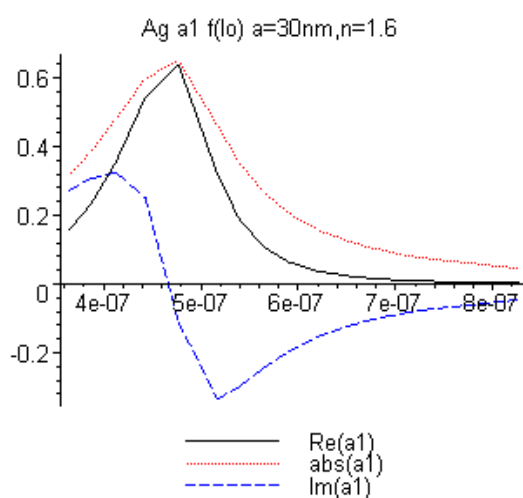
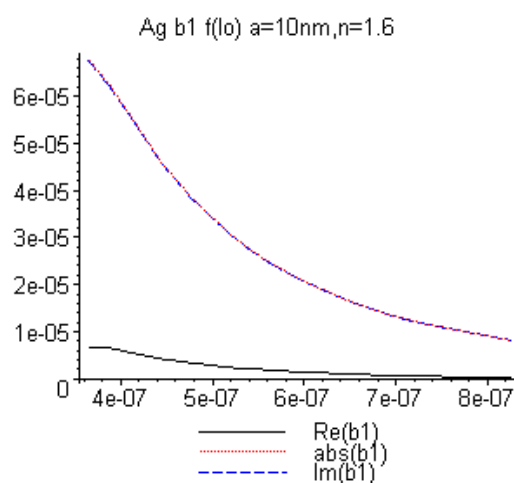
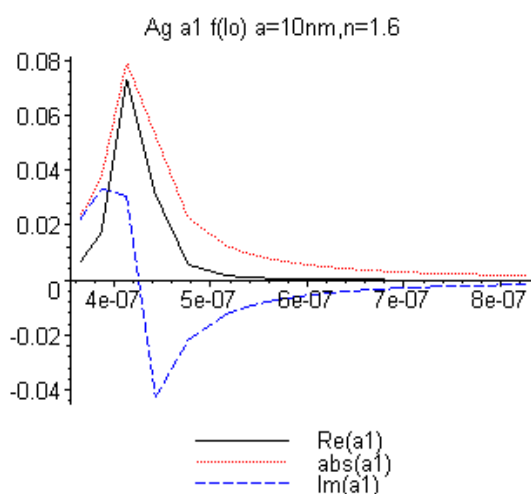
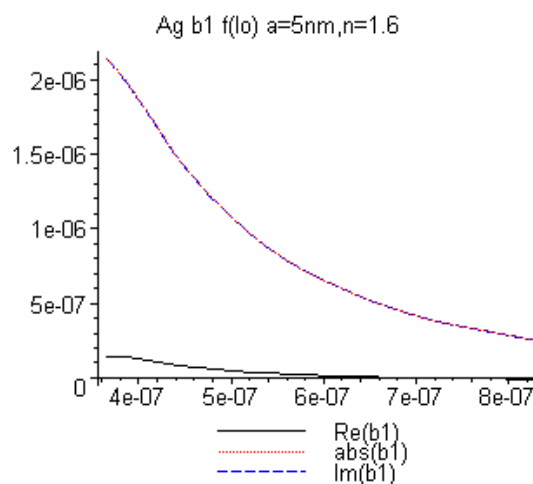
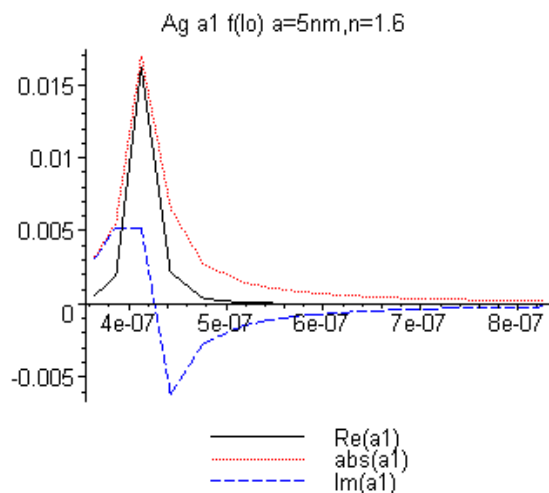


► a variant de 0.5 à 6 nm

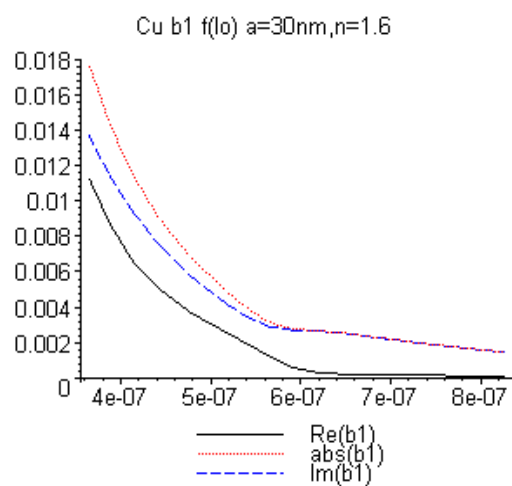
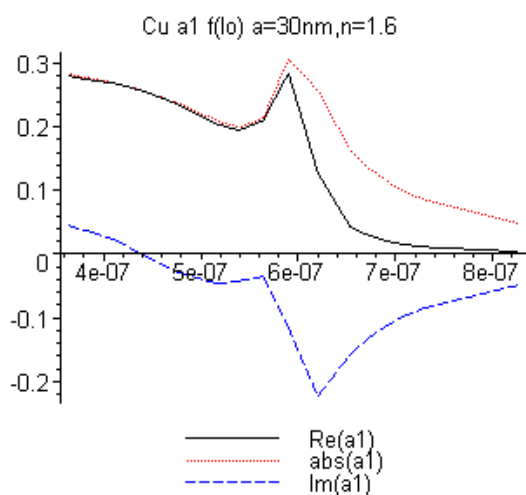
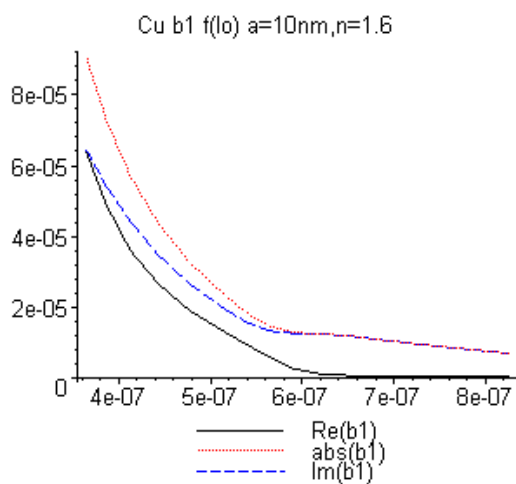
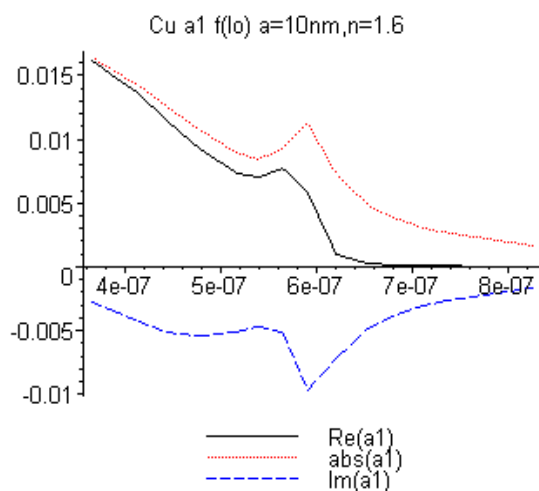
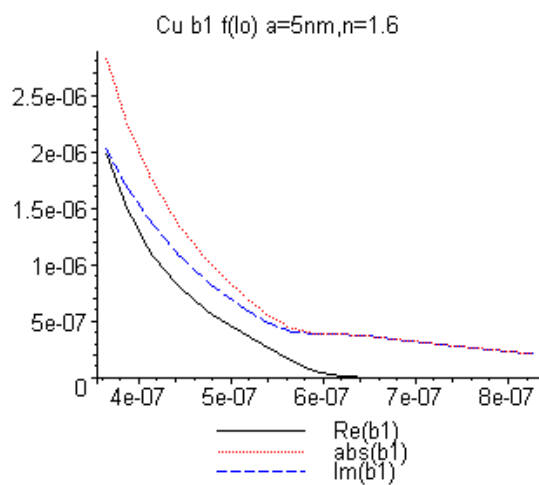
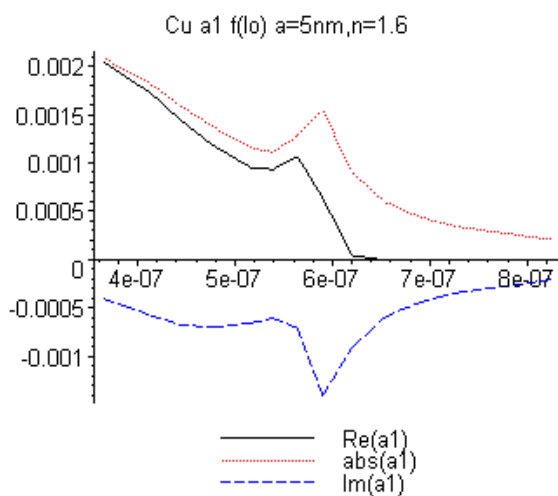


Les variations de a_1 et b_1 en fonction de la longueur d'onde pour les sphères d'argent et de cuivre de rayons 5, 10 et 30 nm.

❖ Sphères d'argent (an bnf(lo) Ag)

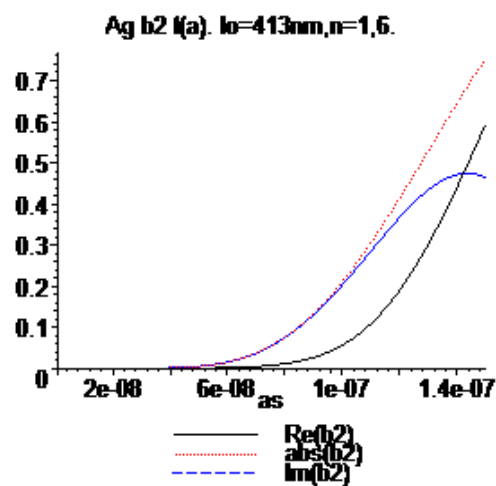
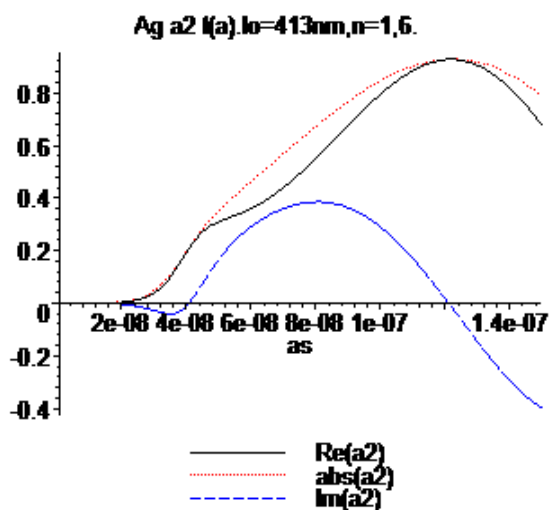


❖ Sphères de cuivre (an bnf(lo) Cu)

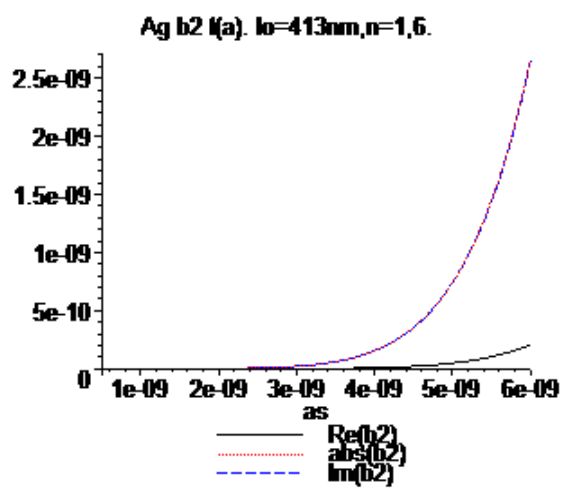
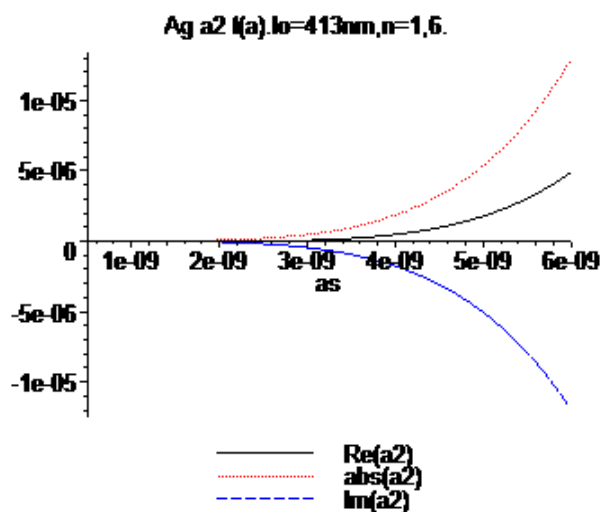


Les variations de a_2 et b_2 en fonction du rayon pour des sphères colloïdales d'argent plongées dans une glaçure transparente d'indice 1.6 et pour la longueur d'onde 413 nm.

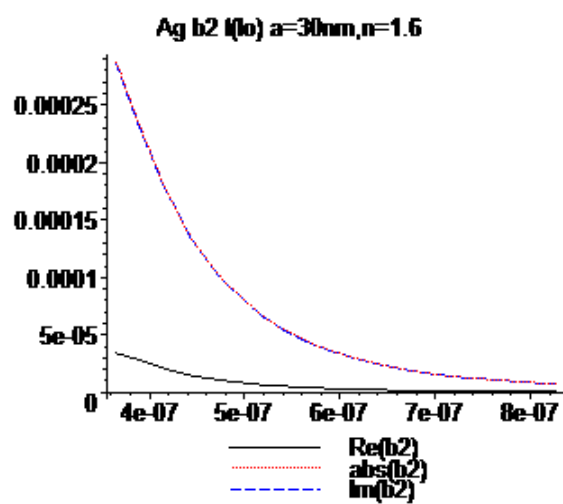
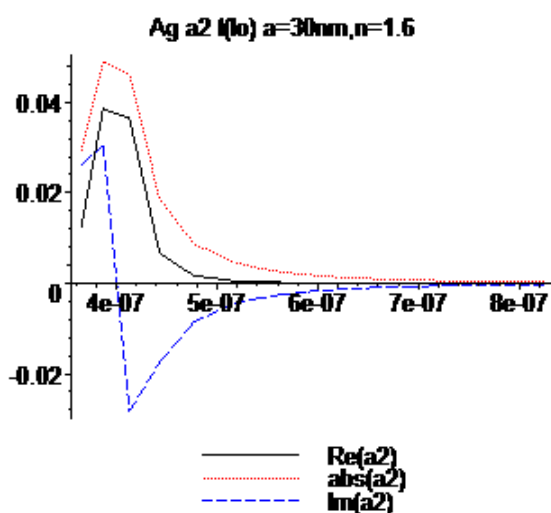
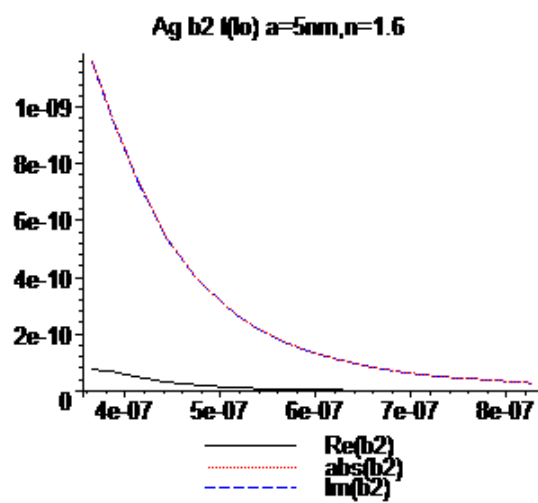
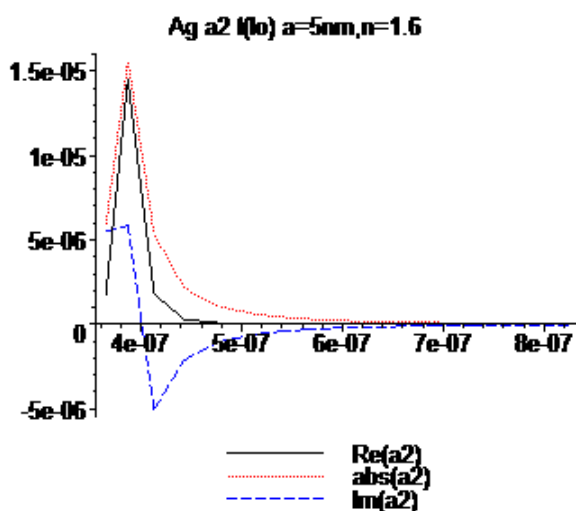
► a variant de 1 à 150 nm



► a variant de 0.5 à 6 nm



Les variations de a_2 et b_2 en fonction de la longueur d'onde pour les sphères d'argent de rayons 5 et 30 nm.



Les variations de a_3 et b_3 en fonction de la longueur d'onde pour les sphères d'argent de rayons 5 et 30 nm.

