



Les objectifs du module

- Lister les méthodes de synthèse d'images
- Décrire le principe de synthèse d'images par lancer de rayons
- Appliquer des transformations géométriques
- Définir un frustum, écrire l'algorithme de frustum culling
- Calculer les normales à un maillage
- Appliquer une texture à partir de coordonnées de texture
- Caractériser les illuminations de Lambert, de Gouraud, de Phong
- Utiliser le moteur OGRE3D et programmer un fragment shader en CG



L'organisation

5 séances de cours / TD, 5 séances de TP

Evaluations:

Une note de DE: 70 % de la note du module

Une note de TP : **30%** de la note finale : 2 séances de TP Ogre3D (1 note) , 3 séances de TP 'Ray Tracing) (1 note)



Pour les curieux

Environnement de TP: moteur Ogre3D, programmation en C++

Utilisation d'une machine virtuelle

Sujets des TP 1 et 2 disponibles dès la semaine prochaine sur Moodle (en cours d'amélioration)



Pourquoi des images de synthèse ?

« Un bon croquis vaut mieux qu'un long discours »

> une information visuelle permet d'exprimer la complexité

Image domaine public

Une image peut comporter beaucoup d'informations sous formes différentes : **visual cues** (indices visuels)

couleur forme taille profondeur

Animation parallaxe transparence annotation

dataviz

interaction

Aspects cognitifs

1972 : <u>A</u>

1982





Une histoire de modèles

Pour construire une image:

Un contenu, des objets

Modèle d'objet

Une manière de dessiner (grapher) ce contenu

Modèle de formation de l'image



Le modèle de vision

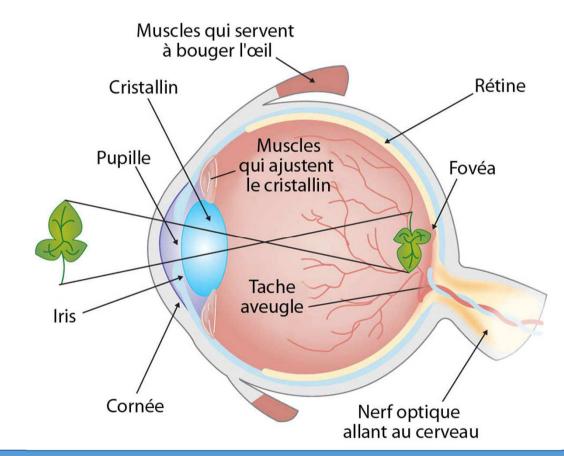


Vision, œil et caméra

Modèle physique et optique de formation d'une image

Fovéa : zone d'acuité visuelle maximale

Point aveugle à la connexion du nerf optique (compensé par stéréovision)



https://askabiologist.asu.edu/batonnets-et-cones

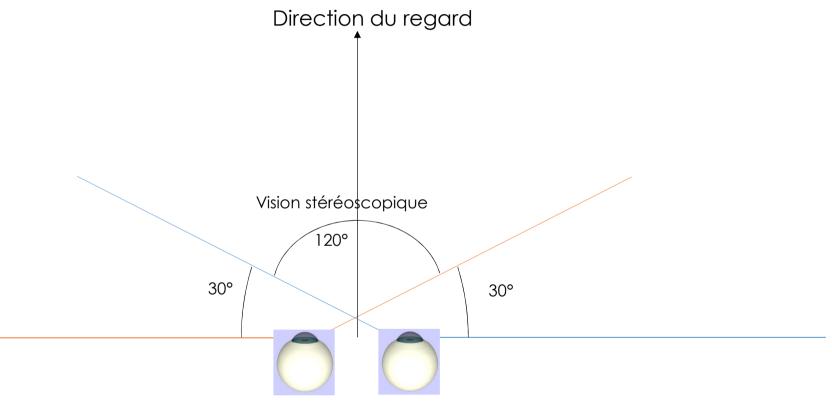


Le test du point aveugle



http://www.chez-barbu.com/site/2011-10-27-mariotte

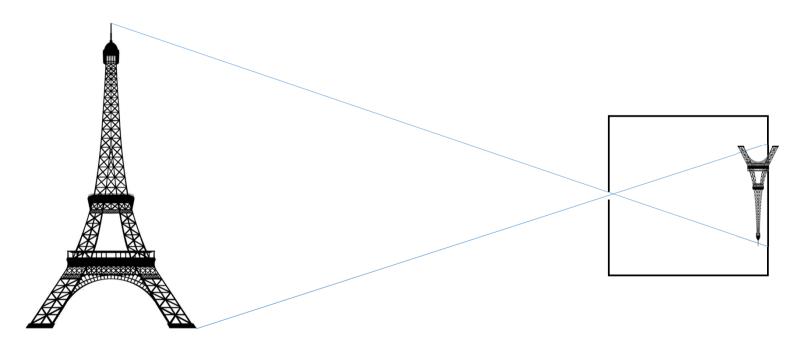
Caractéristiques de la vision humaine





Modèle sténopé

Premières captures d'image





Un autre modèle de vision

https://youtu.be/65HTcoOk5MU



Récepteurs, lumière, couleur

Cônes : 5% des récepteurs, quelques millions, autour de la foyea

sensibles à certaines fréquences du spectre lumineux

couleur

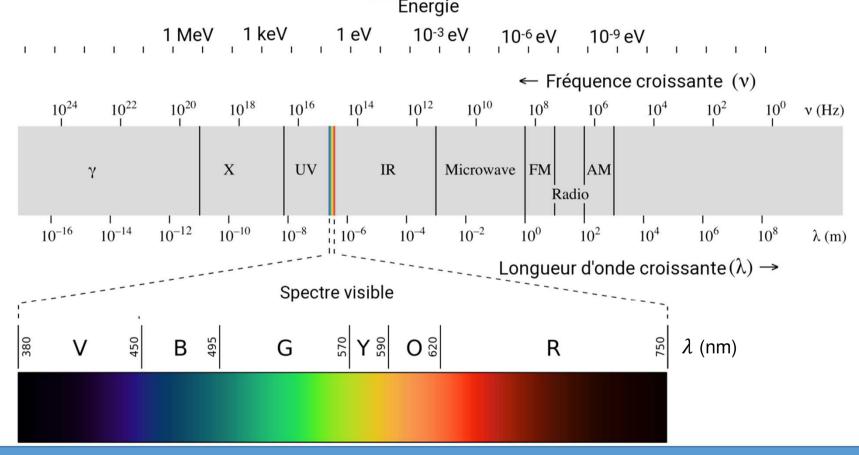
Bâtonnets : 95% des récepteurs, plusieurs dizaines de millions, plus concentrés vers la périphérie

Très sensibles à **l'intensité** du spectre lumineux

Luminosité

L'œil perçoit mieux les couleurs le jour que la nuit

Ondes électromagnétiques / photons



Sensibilité de l'œil au spectre lumineux

Trois types de cônes : S, M et L

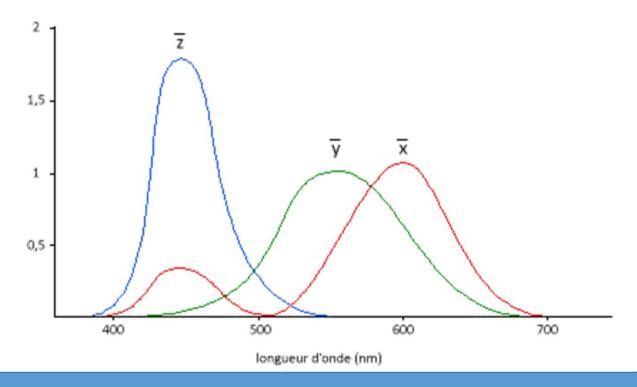




Diagramme de chromaticité (1931)

Densité spectrale de la source de lumière

Réflectance de la matière illuminée

Définition de couleur suivant 3 caractéristiques

X: teinte

Y: luminance

Z:saturation

Exemple: $X = k \int_{400nm}^{800nm} I(\lambda) R(\lambda) . \overline{x}(\lambda) dx$

Sensibilité de l'observateur au spectre



Diagramme de chromaticité (1931)

Diagramme à deux dimensions (x, y) avec :

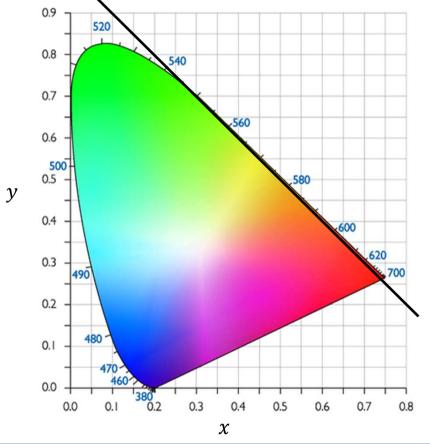
$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

Troisième composante $z=1-x-y=\frac{z}{x+y+z}$: luminosité



Diagramme de chromaticité (1931)



Ensemble des couleurs visibles par l'œil humain

Les couleurs plus foncées (dont le noir) correspondent à des valeurs de z > 0.

$$x + y = 1 (z = 0)$$



Espaces colorimétriques

Couleur perçue = combinaison de R, V, B (RGB)

$$C = \alpha . R + \beta . V + \gamma . B$$
, $\alpha + \beta + \gamma = 1$

 $R: \lambda = 700 nm$

 $V: \lambda = 546,1 \, nm$

 $B: \lambda = 435.8 \, nm$

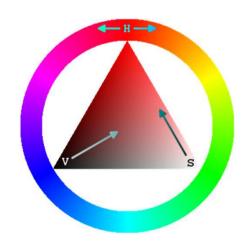
2 paramètres : représentation en deux dimensions

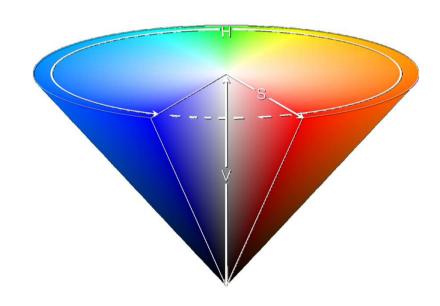


Espaces colorimétriques

3 dimensions pour représenter une couleur

HSV (Hue: Teinte / Saturation / Value: Valeur)







Espaces colorimétriques

YUV



 $U = -0.147 \cdot R - 0.288 \cdot G + 0.436 \cdot B$

Y=0,299.*R* + 0,587.*V*+0,114.*B*



(R, V, B)



 $V = 0.615 \cdot R - 0.514 \cdot G - 0.100 \cdot B$

Compatibilité récepteurs N&B / couleur



Dispositifs couleur

Système colorimétrique associé à un dispositif produisant des images en couleur

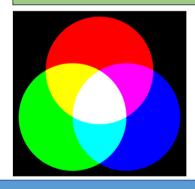
Chaque dispositif produit une couleur comme synthèse de couleurs de base.

Impression couleur : synthèse soustractive, système CMYK – Cyan Magenta Yellow Black

Ecran couleur : synthèse additive, système RGB Red Green Blue



Sur papier : absorbe et réfléchit une lumière extérieure



Source de lumière interne, pas d'absorption



Gamut d'un dispositif

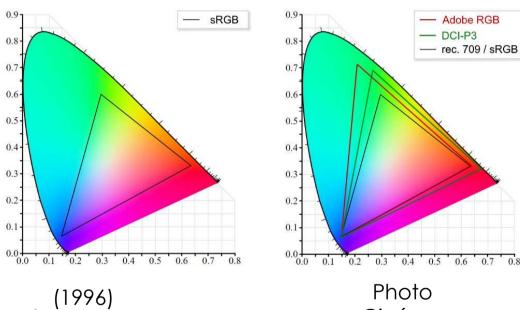
Gamut = ensemble des couleurs restituées par un dispositif

Sous-ensemble du diagramme de chromaticité

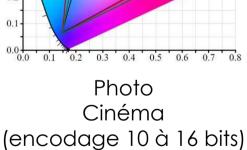
L'œil ne distingue pas toutes les couleurs à un instant donné, mais beaucoup de nuances

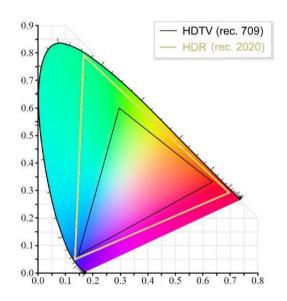


Quelques exemples



Écrans CRT moniteurs

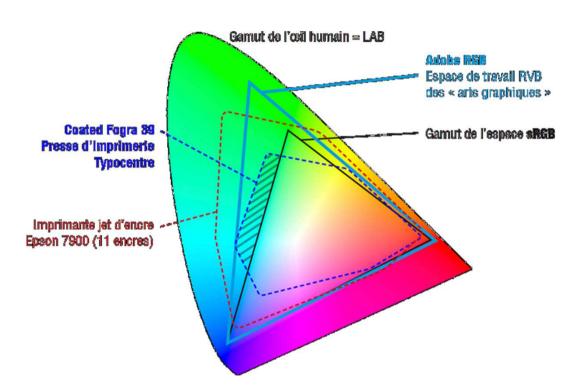




Ecrans 4K UHD HDR (encodage 10 bits)



Gamut en impression





Modélisations des objets



Les approches

Représentation informatique d'un objet à visualiser.

Méthodes de dessin, de rendu (=visualisation de l'objet)

Quelles propriétés des objets utiliser?

Comment les utiliser?

Comment effectuer la visualisation ?



Pourquoi modéliser

Représentation simplifiée

Maitrise des caractéristiques du modèle

Maitrise de l'environnement (si l'objet est difficilement observable, parties internes de machinerie par exemple)



Approches géométriques

CSG: constructive solid geometry (modélisation solide)

B-Rep: boundary representation (modélisation surfacique)

Surfaces implicites (modélisation volumique)



CSG

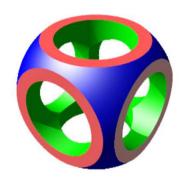
primitives géométriques définies mathématiquement

Cône, cylindre, sphère, parallépipède, surface spline fermée, surfaces de révolution

Opérations ensemblistes pour construire des objets complexes



Illustration



Différence -

Intersection \(\Omega\)

réunion **U**



Appartenance à un objet

Les opérations ensemblistes \Leftrightarrow opérateurs booléens

Fonction d'appartenance d'un point P à un objet 0 : $f_O(P) < 0$

Sphère de centre C, de rayon $R: \|\overrightarrow{CP}\| \le R \Leftrightarrow \|\overrightarrow{CP}\|^2 \le R^2$

Idem pour un parallélepipède:



Quelle est $f_O(P)$?



Applications

CAO / formes « régulières »
Calcul de quantités géométriques : courbure, torsion, tangente, normale

Utile en conception industrielle

Utilisable avec la technique ray casting (lancer de rayons)

Tout point est défini géométriquement



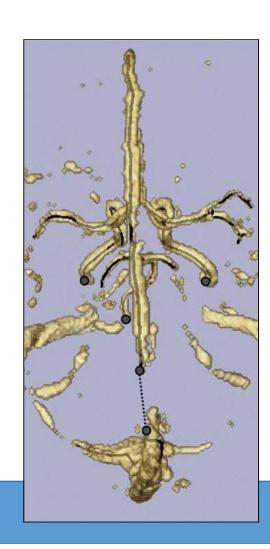
Modèle et dimensions

Modèle de rendu surfacique

Informations volumiques car modèle du corps de l'objet en SCG

« Voxel»

On peut aussi transformer un nuage de points en volume :





Les modèles de surface

B-Rep : représentation de la surface en tant que **frontière** de l'objet (entre son intérieur et son extérieur)

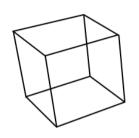
Pas de modélisation de l'intérieur

Propriétés géométriques d'un maillage de surface

Applicable à des surfaces ouvertes



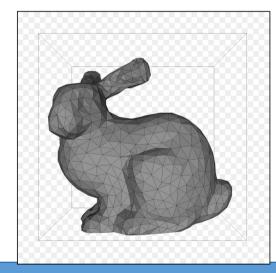
Quelques maillages B-Rep

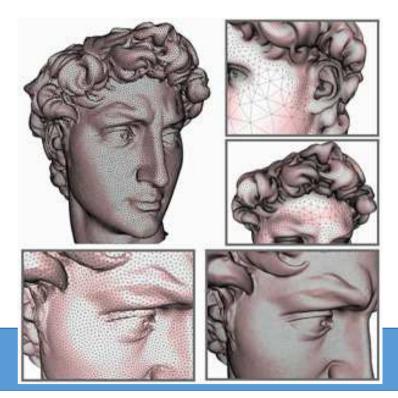














Modèles B-Rep

Modèle non procédural

A partir de maillages par capture ou modélisation

Technique de rendu par **pipeline graphique 3D** (carte graphique)

Techniques rapide, utilisation astucieuse des mathématiques.



Les surfaces implicites

Nappes paramétrées en 3D

= « surface de niveau d'une fonction différentiable f définie sur un ouvert de \mathbb{R}^3 »

(de: https://fr.wikipedia.org/wiki/Surface_implicite)

f(x,y,z)=0 définit l'ensemble des points x,y,z de la surface

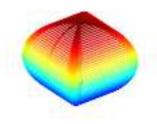
Exemple : $x^2 + y^2 + z^2 - A^2 = 0$ définit....

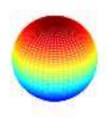


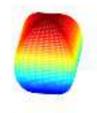
Exemples de superquadriques

Courbes à 5 paramètres $a_1, a_2, a_3, \varepsilon_1, \varepsilon_2$ définie par

$$\left(\left(rac{x}{a_1}
ight)^{rac{2}{arepsilon_2}}+\left(rac{y}{a_2}
ight)^{rac{2}{arepsilon_2}}
ight)^{rac{arepsilon_2}{arepsilon_1}}+\left(rac{z}{a_3}
ight)^{rac{2}{arepsilon_2}}=1$$

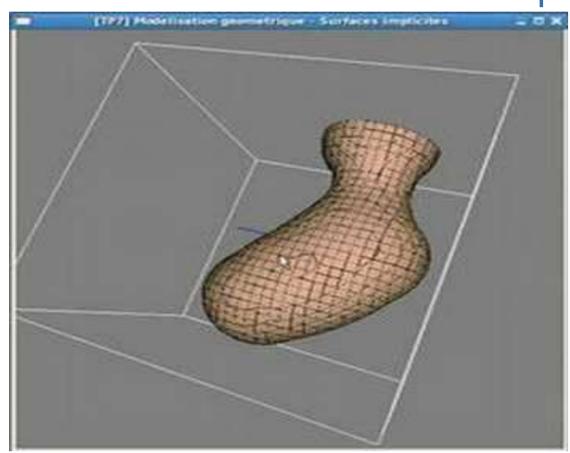








Déformations et formes complexes



Une vidéo de Dimitri Kudelski



Modélisations B-Rep et pipeline graphique



B-Rep polygonale

Surface approchée par des polygones



En 3D: un plan est défini par 3 points

Facettes triangulaires, définies par leurs sommets

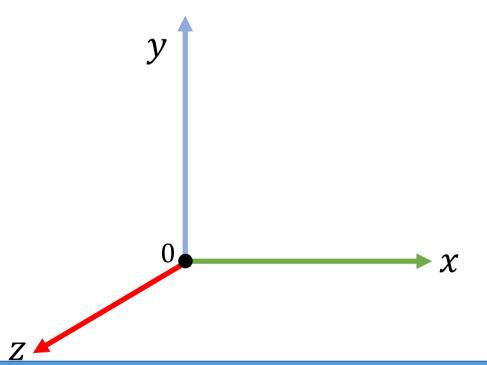
$$s_1(x_1, y_1, z_1)$$

 $s_2(x_2, y_2, z_2)$
 $s_3(x_3, y_3, z_3)$



Avant d'aller plus loin

Coordonnées de points : exprimées dans un repère (0, x, y, z)



Repère orthonormé

Le point O est au centre du « monde » 3D, appelé espace objet

Ce repère est appelé Repère du monde



Un peu d'algèbre linéaire

Les points sont définis dans un espace affine, auquel est associé un espace vectoriel (ici \mathbb{R}^3), où les vecteurs sont exprimés comme la différence entre deux points.

Certaines transformations concernent les vecteurs, d'autres les points.

Par exemple, dans un espace vectoriel, la notion de rotation existe, mais pas celle de translation, qui a un sens dans un espace affine.



Rappels de calcul (boîte à outils)

Produit **scalaire** de \vec{u} et \vec{v} :



- 1. Donnez deux méthodes de calcul du produit scalaire
- 2. Quelle méthode est utilisée en synthèse d'images ? Pourquoi ?
- 3. À l'aide de schémas, indiquez quelle propriété est associée au signe du produit scalaire de deux vecteurs.



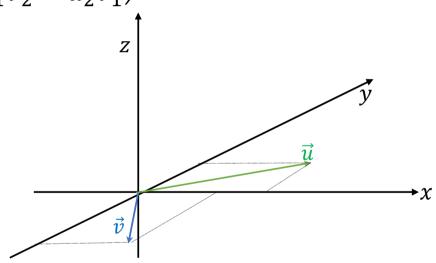
Calcul de produit vectoriel



Calcule un vecteur
$$\vec{w} = \vec{u} \wedge \vec{v} = \begin{pmatrix} u_2 v_3 - u_3 v_2 \\ u_3 v_1 - u_1 v_3 \\ u_1 v_2 - u_2 v_1 \end{pmatrix}$$

Complétez le schéma suivant après avoir calculé $\vec{w} = \vec{u} \wedge \vec{v}$

$$\vec{u} = \begin{pmatrix} 3 \\ 2 \\ 0 \end{pmatrix} \qquad \vec{v} = \begin{pmatrix} 2 \\ -3 \\ 0 \end{pmatrix}$$





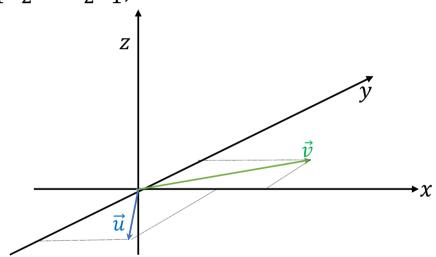
Calcul de produit vectoriel (2)



Calcule un vecteur
$$\vec{w} = \vec{u} \wedge \vec{v} = \begin{pmatrix} u_2 v_3 - u_3 v_2 \\ u_3 v_1 - u_1 v_3 \\ u_1 v_2 - u_2 v_1 \end{pmatrix}$$

Complétez le schéma suivant après avoir calculé $\vec{w} = \vec{u} \wedge \vec{v}$

$$\vec{u} = \begin{pmatrix} 2 \\ -3 \\ 0 \end{pmatrix} \qquad \vec{v} = \begin{pmatrix} 3 \\ 2 \\ 0 \end{pmatrix}$$





Autres calculs



Pour chacun des exemples précédents, calculez le produit scalaire \vec{u} , \vec{w}

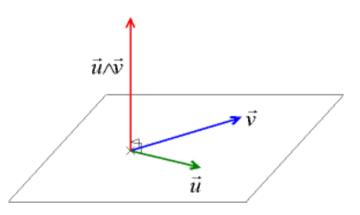
Enfin, pour un scalaire k quelconque, calculez $\vec{u} \wedge (k \cdot \vec{u})$



Le produit vectoriel - correction

Est antisymétrique : $\vec{v} \wedge \vec{u} = -(\vec{u} \wedge \vec{v})$

 \vec{w} est orthogonal au plan défini par \vec{u} et \vec{v}



Donne le vecteur nul $\vec{0}$ si \vec{u} et \vec{v} sont colinéaires



Utilisation du produit vectoriel

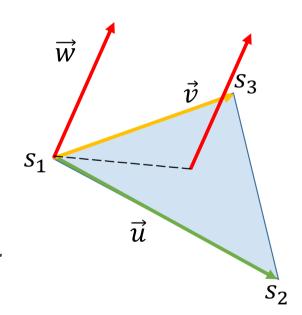
Pour une facette f triangulaire de sommets s_1, s_2, s_3 :

On calcule les vecteurs support de f

$$\vec{u} = \overrightarrow{s_1 s_2} = s_2 - s_1$$

$$\vec{v} = \overrightarrow{s_1 s_3} = s_3 - s_1$$

Puis $\vec{w} = \vec{u} \wedge \vec{v}$ est le vecteur normal à f





Normalisation d'un vecteur

Soit
$$\vec{v} = (v_1, v_2, v_3)$$

La norme de \vec{v} , notée $||\vec{v}||$ est calculée par :

$$\|\vec{v}\| = \sqrt{\vec{v} \cdot \vec{v}} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2}$$

Simplification de calculs ultérieurs si on utilise $\frac{\vec{v}}{\|\vec{v}\|}$, de norme



(Hyper)plans et demi espaces

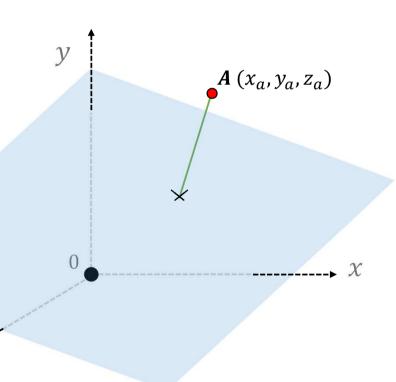
plan
$$P: (E) ax + by + cz + d = 0$$

Calcul de $k = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$

$$\Gamma(x, y, z) = \frac{a}{k}x + \frac{b}{k}y + \frac{c}{k}z + \frac{d}{k}$$

Pour un point quelconque $A(x_a, y_a, z_a)$

On calcule $\Gamma(x_a, y_a, z_a)$

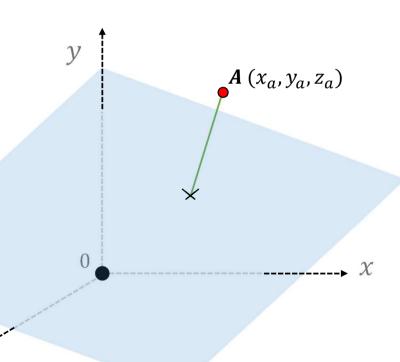




(Hyper)plans et demi espaces

 $\Gamma(x_a, y_a, z_a)$ est une **distance signée** au plan *P*Le signe indique de quel 'côté' du plan se situe *A*La valeur absolue indique la distance euclidienne

Si $\Gamma(x_a, y_a, z_a) = 0$ alors le Point A appartient au plan P





Application



Quelle est l'expression de $\Gamma(x,y,z)$ pour le plan P dont l'équation est -4x + y + 4z - 3 = 0 ?

Les points de coordonnées A=(0,0,0) et B=(1,1,1) appartiennent-ils au même demi-espace délimité par le plan P

Quel point de la droite (AB) appartient à P ?