

IMN259 - Analyse d'images

Chapitre 1

Introduction

Adapté des notes de cours de
Marie-Flavie Auclair-Fortier et Pierre-Marc Jodoin

PLAN

1. L'analyse d'images
2. Images numériques

PLAN

1. L'analyse d'images

1.1. C'est quoi?

1.2. Un peu de vocabulaire

1.3. Amélioration de la qualité

1.4. Extraction des caractéristiques

1.5. Contexte

2. Images numériques

1. L'ANALYSE D'IMAGES

1. De quessé?

- * On distingue 2 classes d'applications

1. L'ANALYSE D'IMAGES

1. De quessé?

- * On distingue 2 classes d'applications
 - ✓ Traitement d'images
 - ➔ Amélioration de la qualité des images/vidéos
exemples : réduire le bruit, rehausser le contraste ...



1. L'ANALYSE D'IMAGES

1. De quessé?

* On distingue 2 classes d'applications

✓ Traitement d'images

➔ Amélioration de la qualité des images/vidéos
exemples : réduire le bruit, rehausser le contraste ...

✓ Analyse d'images

➔ Ensemble de techniques pour extraire les
caractéristiques pertinentes d'une image/vidéo
exemples : contours, orientations ...



1. L'ANALYSE D'IMAGES

1. De quessé?

* On distingue 2 classes d'applications

✓ Traitement d'images

➔ Amélioration de la qualité des images/vidéos
exemples : réduire le bruit, rehausser le contraste ...

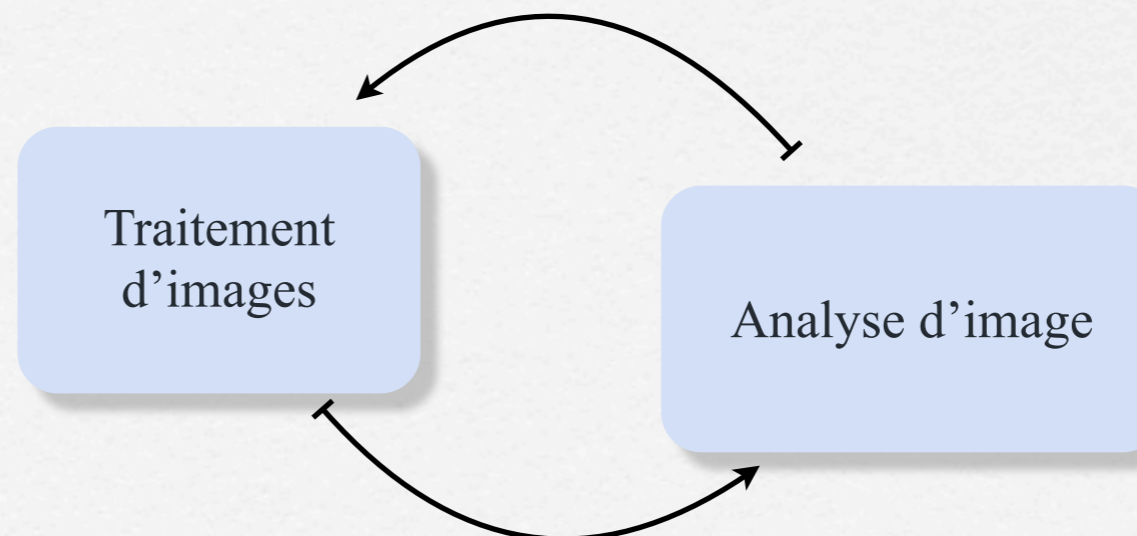
✓ Analyse d'images

➔ Ensemble de techniques pour extraire les
caractéristiques pertinentes d'une image/vidéo
exemples : contours, orientations ...

* Ces 2 classes sont inter-reliées

✓ On analyse pour mieux traiter

✓ On traite avant d'analyser



1. L'ANALYSE D'IMAGES

2. Un peu de vocabulaire

- * Analyse d'image
 - ✓ Extraction des informations pertinentes d'une image

1. L'ANALYSE D'IMAGES

2. Un peu de vocabulaire

- * Analyse d'image
 - ✓ Extraction des informations pertinentes d'une image
- * Traitement d'image
 - ✓ Série d'opérations pour transformer une image en une autre

1. L'ANALYSE D'IMAGES

2. Un peu de vocabulaire

- * Analyse d'image
 - ✓ Extraction des informations pertinentes d'une image
- * Traitement d'image
 - ✓ Série d'opérations pour transformer une image en une autre
- * Vision tridimensionnelle / vision artificielle
 - ✓ Interprétation de scènes (3D et 2D)

1. L'ANALYSE D'IMAGES

2. Un peu de vocabulaire

- * Analyse d'image
 - ✓ Extraction des informations pertinentes d'une image
- * Traitement d'image
 - ✓ Série d'opérations pour transformer une image en une autre
- * Vision tridimensionnelle / vision artificielle
 - ✓ Interprétation de scènes (3D et 2D)
- * Reconnaissance des formes
 - ✓ Association de noms à des formes (sens large)
 - ➔ Ouïe/parole : traitement de la parole
 - ➔ Visuelle : AIM, traitement de l'image, vision augmentée
 - ➔ Tactile : robotique, écrans tactiles, système haptiques
 - ➔ Odorat : ???
 - ➔ Goût : ???

1. L'ANALYSE D'IMAGES

2. Un peu de vocabulaire

- * Analyse d'image
 - ✓ Extraction des informations pertinentes d'une image
- * Traitement d'image
 - ✓ Série d'opérations pour transformer une image en une autre
- * Vision tridimensionnelle / vision artificielle
 - ✓ Interprétation de scènes (3D et 2D)
- * Reconnaissance des formes
 - ✓ Association de noms à des formes (sens large)
 - ➔ Ouïe/parole : traitement de la parole
 - ➔ Visuelle : AIM, traitement de l'image, vision augmentée
 - ➔ Tactile : robotique, écrans tactiles, système haptiques
 - ➔ Odorat : ???
 - ➔ Goût : ???

Tout cela fait parti de la grande famille de l'intelligence artificielle

1. L'ANALYSE D'IMAGES

3. Amélioration de la qualité

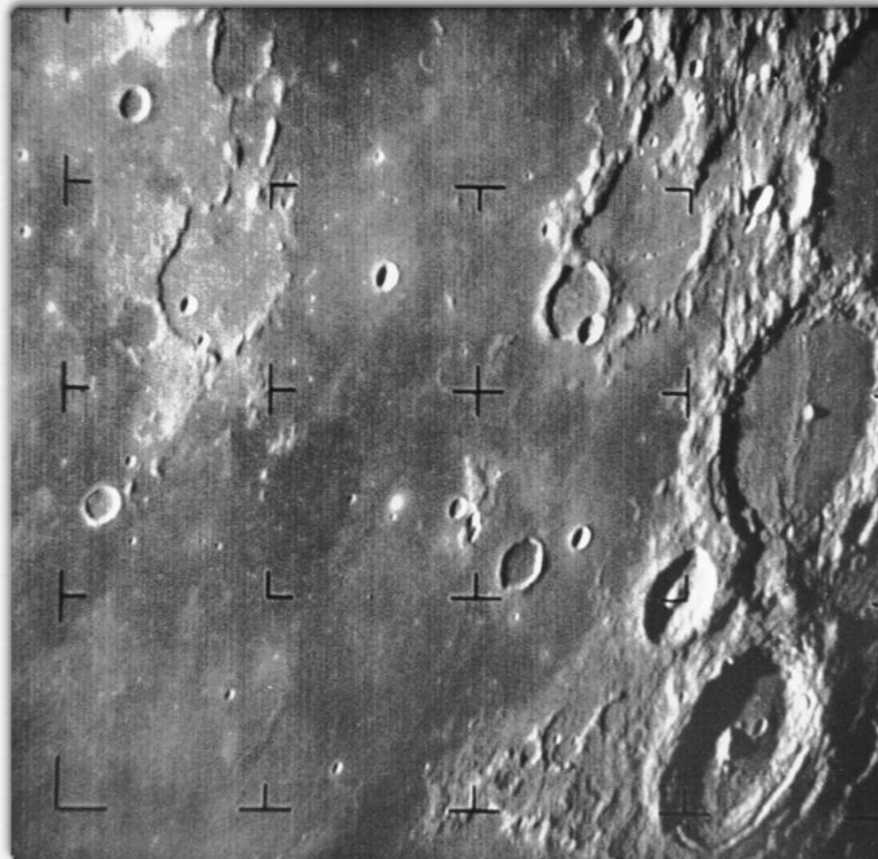
- * Début en 1921 : améliorer la qualité des images transmises par « câble » Londres - New-York



1. L'ANALYSE D'IMAGES

3. Amélioration de la qualité

- * En 1964, le Jet Propulsion Laboratory (NASA) a débuté l'amélioration automatique grâce à l'ordinateur pour améliorer les images de la lune



Première image de la lune prise
le 31 juillet 1964 (Ranger 7)

1. L'ANALYSE D'IMAGES

3. Amélioration de la qualité

* Aujourd'hui, domaines variés

- ✓ médecine
- ✓ imprimerie
- ✓ photographie
- ✓ astronomie
- ✓ visualisation scientifique
- ✓ art
- ✓ archéologie
- ✓ biologie
- ✓ conservation du patrimoine
- ✓ marketing
- ✓ sécurité
- ✓ ...

1. L'ANALYSE D'IMAGES

3. Amélioration de la qualité

- * Réduction du bruit aléatoire
 - ✓ à chaque type de bruit son traitement...

1. L'ANALYSE D'IMAGES

3. Amélioration de la qualité

- * Réduction du bruit aléatoire
 - ✓ à chaque type de bruit son traitement...

Bruit blanc
gaussien



1. L'ANALYSE D'IMAGES

3. Amélioration de la qualité

- * Réduction du bruit aléatoire
 - ✓ à chaque type de bruit son traitement...

Bruit blanc
gaussien



Lissage



1. L'ANALYSE D'IMAGES

3. Amélioration de la qualité

* Réduction du bruit aléatoire

✓ à chaque type de bruit son traitement...

Bruit blanc
gaussien



Lissage



Bruit blanc sel
et poivre



1. L'ANALYSE D'IMAGES

3. Amélioration de la qualité

* Réduction du bruit aléatoire

✓ à chaque type de bruit son traitement...

Bruit blanc
gaussien



Lissage



Bruit blanc sel
et poivre



Filtre médian



1. L'ANALYSE D'IMAGES

3. Amélioration de la qualité

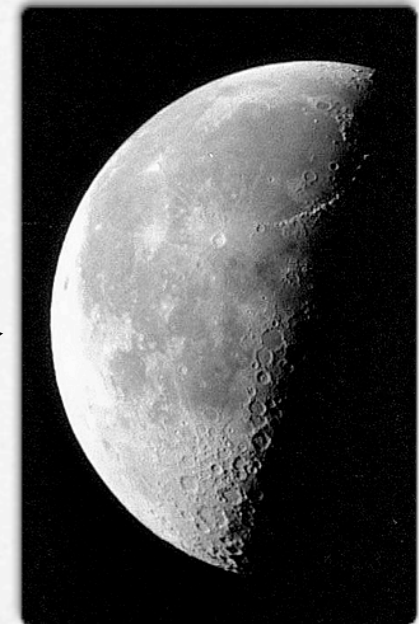
- * Rehaussement du contraste
 - ✓ Il existe plusieurs méthodes

1. L'ANALYSE D'IMAGES

3. Amélioration de la qualité

- * Rehaussement du contraste
 - ✓ Il existe plusieurs méthodes

Rehaussement
des contours

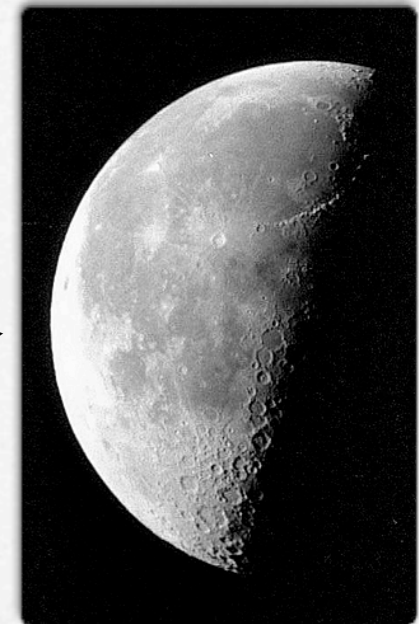


1. L'ANALYSE D'IMAGES

3. Amélioration de la qualité

- * Rehaussement du contraste
 - ✓ Il existe plusieurs méthodes

Rehaussement
des contours



Égalisation
d'histogramme



1. L'ANALYSE D'IMAGES

3. Amélioration de la qualité

- * Particularité de la couleur
 - ✓ Importance de choisir le bon espace couleur

1. L'ANALYSE D'IMAGES

3. Amélioration de la qualité

- * Particularité de la couleur
 - ✓ Importance de choisir le bon espace couleur

Rehaussement
du contraste



1. L'ANALYSE D'IMAGES

3. Amélioration de la qualité

- * Particularité de la couleur
 - ✓ Importance de choisir le bon espace couleur

Rehaussement
du contraste

sur RGB
(Red-Green-Blue)



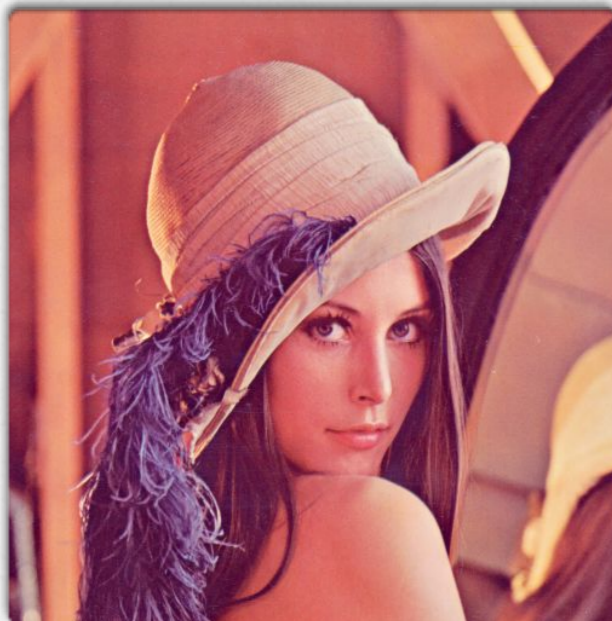
1. L'ANALYSE D'IMAGES

3. Amélioration de la qualité

- * Particularité de la couleur
 - ✓ Importance de choisir le bon espace couleur

Rehaussement
du contraste

sur RGB
(Red-Green-Blue)



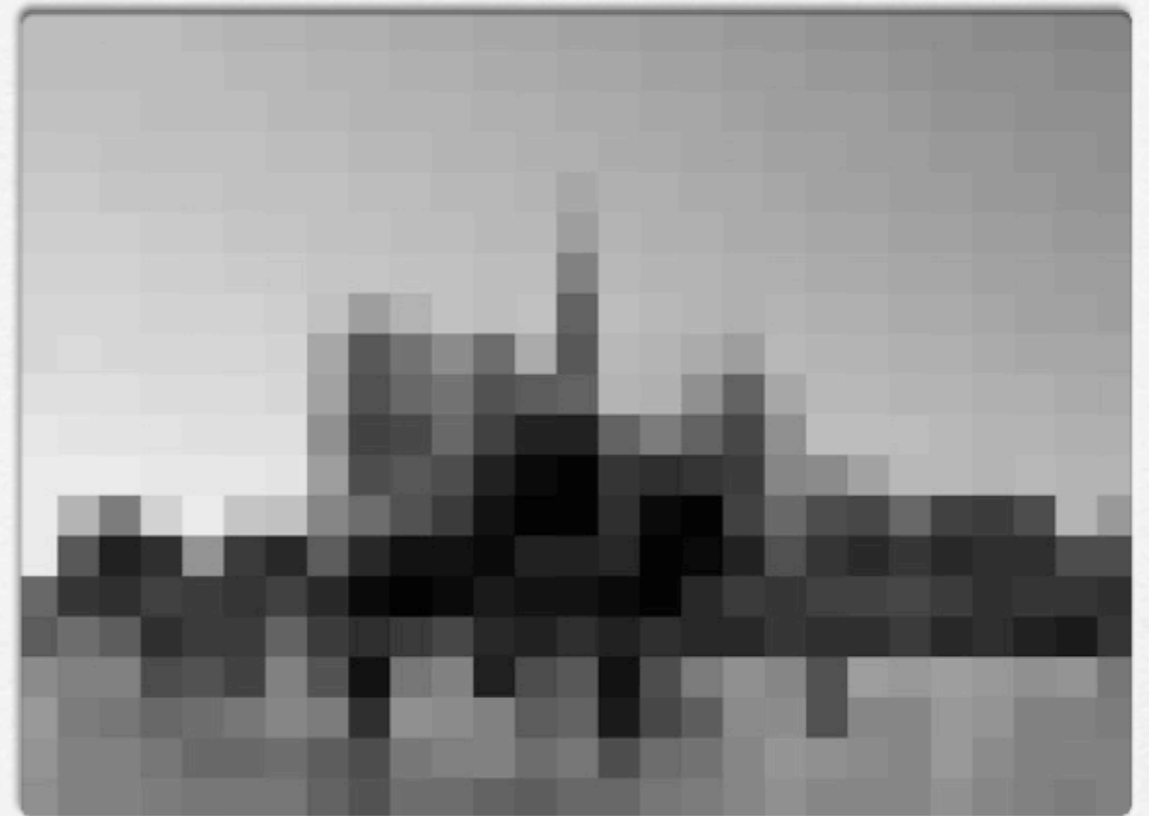
sur HSI
(Hue-Saturation-Intensity)



1. L'ANALYSE D'IMAGES

4. Extraction des caractéristiques

- * Problèmes des images numériques
 - ✓ Beaucoup d'informations à digérer...

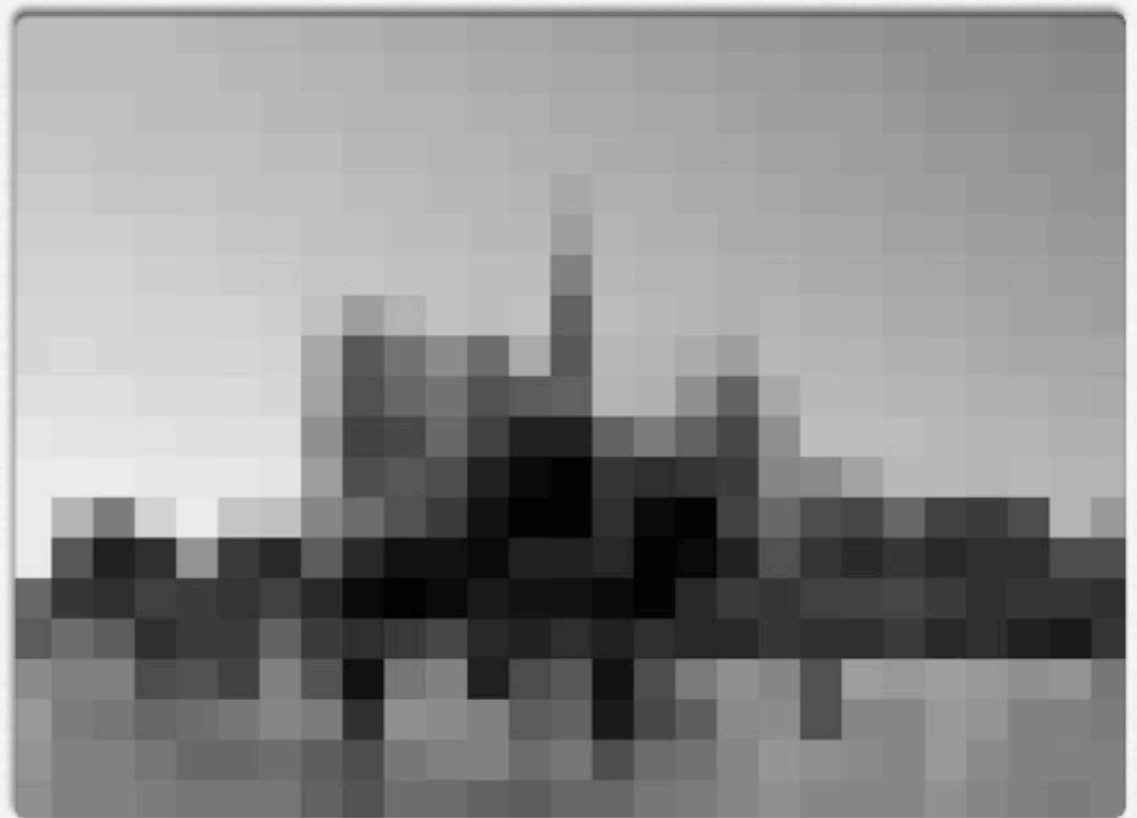


1. L'ANALYSE D'IMAGES

4. Extraction des caractéristiques

- * Problèmes des images numériques
 - ✓ Beaucoup d'informations à digérer...

175	175	176	175	175	171	166	164	163	161	158	157	155	154	150	147	143	141	139	136	134	131	128	125	122	120	118
178	178	178	178	177	174	173	168	167	164	162	160	157	156	153	151	147	145	143	140	138	135	131	127	125	125	122
180	180	180	180	180	178	176	173	171	167	167	164	162	160	156	155	151	149	146	143	140	139	136	132	130	128	127
185	184	184	184	182	180	179	177	175	171	170	167	165	163	160	160	155	153	151	148	145	142	139	137	136	133	129
194	194	191	187	185	185	183	182	180	176	175	174	170	170	153	163	161	158	155	152	150	147	144	141	139	136	136
199	199	197	194	192	188	185	184	183	180	178	176	173	171	145	165	163	160	157	155	152	149	147	144	141	139	137
202	201	203	199	199	195	192	188	187	184	183	180	177	176	116	171	167	166	161	159	158	155	153	149	146	143	141
206	205	205	204	201	200	198	197	183	144	169	184	177	178	81	174	172	168	160	164	162	159	156	153	151	149	145
209	210	211	209	207	205	204	205	151	72	97	123	89	156	72	173	169	157	140	172	169	167	163	160	157	154	151
215	215	213	213	213	209	209	208	147	65	86	98	66	76	79	169	165	122	85	154	174	172	169	166	163	160	158
225	225	223	220	219	217	215	214	127	50	60	88	50	27	27	85	108	83	57	127	178	178	175	171	168	165	163
230	230	229	227	226	225	224	223	141	62	73	63	28	13	7	38	33	41	52	119	123	150	174	172	166	170	168
233	232	166	107	200	231	187	182	115	91	65	47	17	5	5	37	13	7	52	89	63	56	87	52	49	63	167
231	224	73	21	39	124	42	38	77	35	17	20	12	28	28	30	6	10	27	66	43	33	41	34	36	42	56
85	92	51	36	47	60	42	39	36	12	5	13	20	20	19	14	7	32	43	43	50	53	52	51	39	46	40
74	83	92	67	38	48	51	81	47	38	44	50	27	29	35	28	35	29	34	44	40	38	44	33	36	29	24
124	123	110	114	61	66	56	113	70	18	102	113	25	60	74	14	63	107	130	118	64	141	137	143	136	127	133
137	138	105	107	84	96	100	127	107	42	125	124	112	75	80	21	55	79	122	124	65	116	120	136	133	113	114
134	135	112	112	98	89	85	93	79	57	105	113	114	94	100	64	90	98	118	133	125	121	116	136	122	113	114
126	128	114	112	110	102	98	99	79	66	92	87	80	78	85	84	100	103	116	129	122	118	115	130	119	111	112

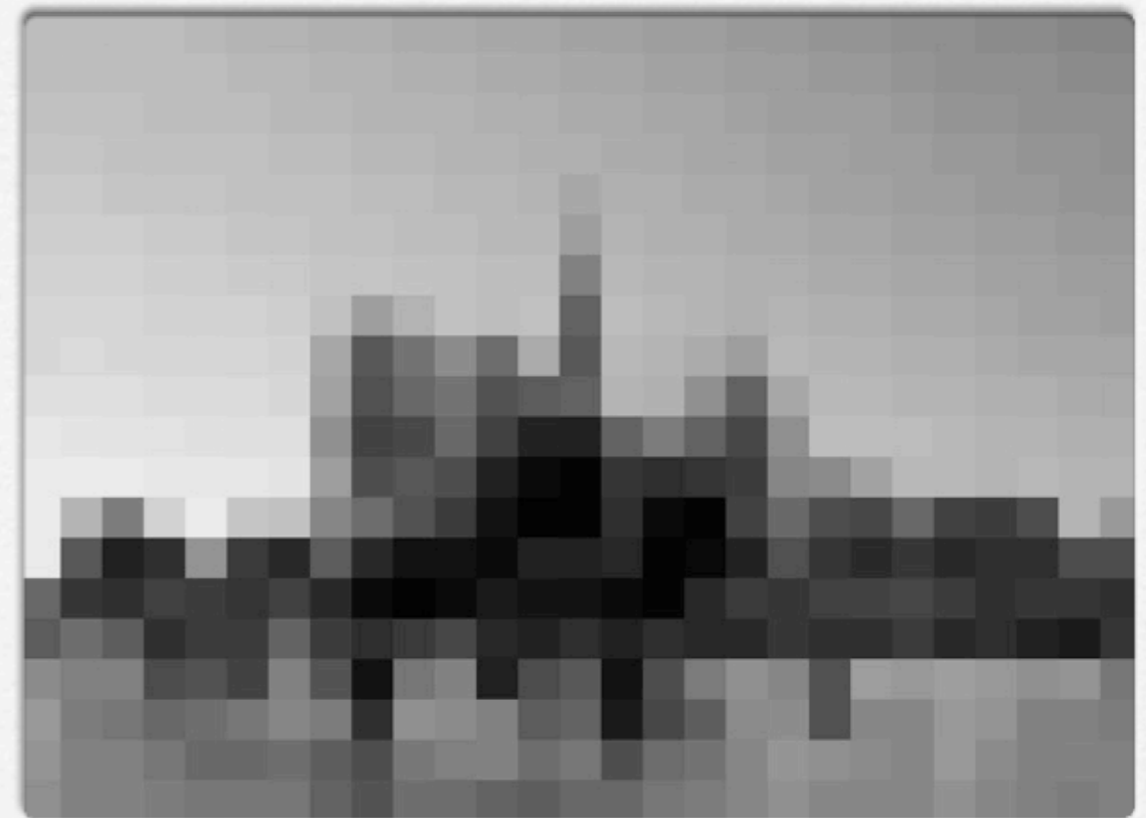


1. L'ANALYSE D'IMAGES

4. Extraction des caractéristiques

- * Problèmes des images numériques
 - ✓ Beaucoup d'informations à digérer...

175	175	176	175	175	171	166	164	163	161	158	157	155	154	150	147	143	141	139	136	134	131	128	125	122	120	118
178	178	178	178	177	174	173	168	167	164	162	160	157	156	153	151	147	145	143	140	138	135	131	127	125	125	122
180	180	180	180	180	178	176	173	171	167	167	164	162	160	156	155	151	149	146	143	140	139	136	132	130	128	127
185	184	184	184	182	180	179	177	175	171	170	167	165	163	160	160	155	153	151	148	145	142	139	137	136	133	129
194	194	191	187	185	185	183	182	180	176	175	174	170	170	153	163	161	158	155	152	150	147	144	141	139	136	136
199	199	197	194	192	188	185	184	183	180	178	176	173	171	145	165	163	160	157	155	152	149	147	144	141	139	137
202	201	203	199	199	195	192	188	187	184	183	180	177	176	116	171	167	166	161	159	158	155	153	149	146	143	141
206	205	205	204	201	200	198	197	183	144	169	184	177	178	81	174	172	168	160	164	162	159	156	153	151	149	145
209	210	211	209	207	205	204	205	151	72	97	123	89	156	72	173	169	157	140	172	169	167	163	160	157	154	151
215	215	213	213	213	209	209	208	147	65	86	98	66	76	79	169	165	122	85	154	174	172	169	166	163	160	158
225	225	223	220	219	217	215	214	127	50	60	88	50	27	27	85	108	83	57	127	178	178	175	171	168	165	163
230	230	229	227	226	225	224	223	141	62	73	63	28	13	7	38	33	41	52	119	123	150	174	172	166	170	168
233	232	166	107	200	231	187	182	115	91	65	47	17	5	5	37	13	7	52	89	63	56	87	52	49	63	167
231	224	73	21	39	124	42	38	77	35	17	20	12	28	28	30	6	10	27	66	43	33	41	34	36	42	56
85	92	51	36	47	60	42	39	36	12	5	13	20	20	19	14	7	32	43	43	50	53	52	51	39	46	40
74	83	92	67	38	48	51	81	47	38	44	50	27	29	35	28	35	29	34	44	40	38	44	33	36	29	24
124	123	110	114	61	66	56	113	70	18	102	113	25	60	74	14	63	107	130	118	64	141	137	143	136	127	133
137	138	105	107	84	96	100	127	107	42	125	124	112	75	80	21	55	79	122	124	65	116	120	136	133	113	114
134	135	112	112	98	89	85	93	79	57	105	113	114	94	100	64	90	98	118	133	125	121	116	136	122	113	114
126	128	114	112	110	102	98	99	79	66	92	87	80	78	85	84	100	103	116	129	122	118	115	130	119	111	112



- ✓ Présence du bruit (données erronées)

- * Par conséquent, on tente de réduire ces informations à ce qui est compréhensible

1. L'ANALYSE D'IMAGES

4. Extraction des caractéristiques

* Caractéristiques

- ✓ Description de la scène représentée par l'image en terme d'objets ayant un sens dans notre univers

Certaines caractéristiques sont bas niveau et d'autres moyen/haut niveau

1. L'ANALYSE D'IMAGES

4. Extraction des caractéristiques

* Caractéristiques

- ✓ Description de la scène représentée par l'image en terme d'objets ayant un sens dans notre univers

Certaines caractéristiques sont bas niveau et d'autres moyen/haut niveau

* Exemples de caractéristiques pertinentes

- ✓ Contours, régions, points caractéristiques ...
- ✓ Objets géométriques: droites, courbe, surface, ...
- ✓ Statistiques: moyenne, variance, corrélation, moments, ...
- ✓ 3D: profondeur, disparité, mouvement, ...
- ✓ Descripteurs de Fourier: fréquence, amplitude, ...

1. L'ANALYSE D'IMAGES

4. Extraction des caractéristiques

* Caractéristiques

- ✓ Description de la scène représentée par l'image en terme d'objets ayant un sens dans notre univers

Certaines caractéristiques sont bas niveau et d'autres moyen/haut niveau

* Exemples de caractéristiques pertinentes

- ✓ Contours, régions, points caractéristiques ...
- ✓ Objets géométriques: droites, courbe, surface, ...
- ✓ Statistiques: moyenne, variance, corrélation, moments, ...
- ✓ 3D: profondeur, disparité, mouvement, ...
- ✓ Descripteurs de Fourier: fréquence, amplitude, ...

Caractéristiques de bas niveau :

- très proches du signal, ne véhiculent pas de sémantique particulière sur l'image
- ✓ Plus on s'approche du haut niveau, plus on ajoute un aspect sémantique à la caractéristique

1. L'ANALYSE D'IMAGES

4. Extraction des caractéristiques

- * Régions - segmentation
 - ✓ On sépare l'image en deux ou plusieurs sections distinctes

1. L'ANALYSE D'IMAGES

4. Extraction des caractéristiques

- * Régions - segmentation
 - ✓ On sépare l'image en deux ou plusieurs sections distinctes



Des fois, c'est facile



Seuillage simple

1. L'ANALYSE D'IMAGES

4. Extraction des caractéristiques

- * Régions - segmentation
 - ✓ On sépare l'image en deux ou plusieurs sections distinctes



Des fois, c'est facile



Seuillage simple

Des fois, moins



Source : J. Chen and T. Pappas, Adaptive perceptual color-texture image segmentation. Electronic Imaging & Signal Processing, 2006

1. L'ANALYSE D'IMAGES

4. Extraction des caractéristiques

- * Contours

- ✓ Idéalement, frontières des régions

1. L'ANALYSE D'IMAGES

4. Extraction des caractéristiques

* Contours

✓ Idéalement, frontières des régions

Mais... On ne veut pas
passer par la segmentation



Détection de contours

1. L'ANALYSE D'IMAGES

4. Extraction des caractéristiques

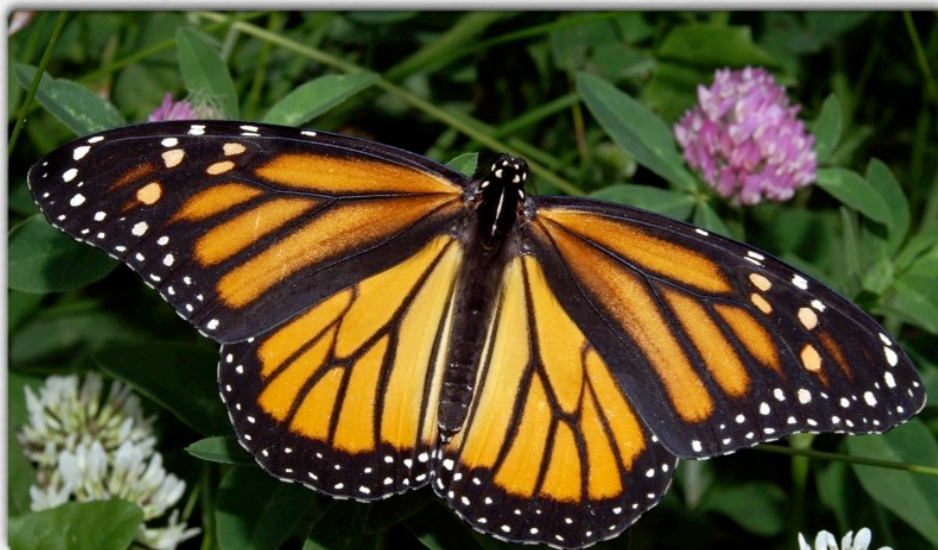
* Contours

✓ Idéalement, frontières des régions

Mais... On ne veut pas
passer par la segmentation



Détection de contours

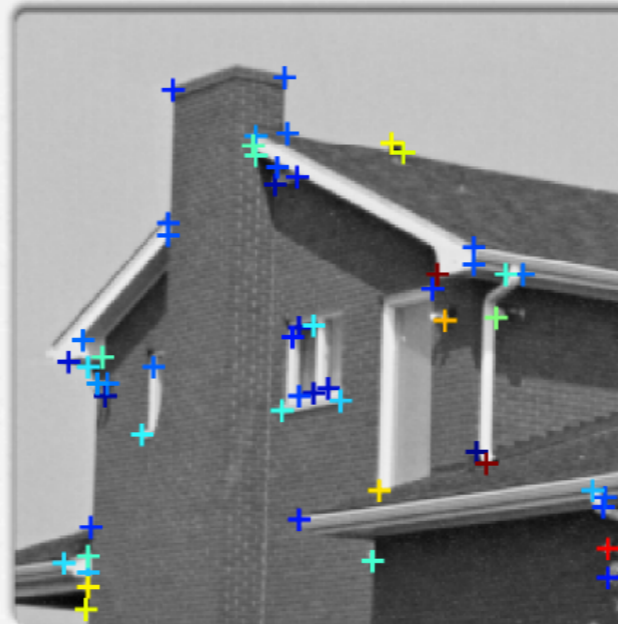


différents niveaux de détails...

1. L'ANALYSE D'IMAGES

4. Extraction des caractéristiques

- * Points d'intérêts
 - ✓ Jonctions des contours



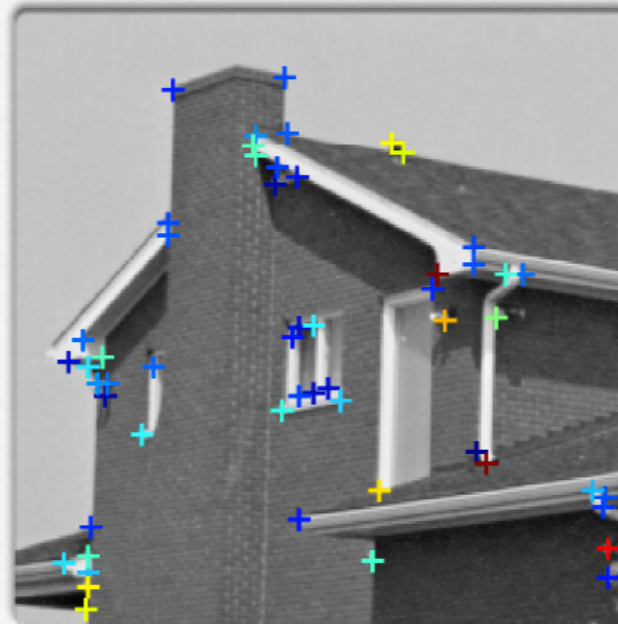
Détection de jonctions

1. L'ANALYSE D'IMAGES

4. Extraction des caractéristiques

- * Points d'intérêts
- ✓ Jonctions des contours

Détection de jonctions



Points d'intérêts

1. L'ANALYSE D'IMAGES

4. Extraction des caractéristiques

* Fréquences

- ✓ Analyse spectrale : les différentes bandes de fréquences contiennent des infos différentes



1. L'ANALYSE D'IMAGES

4. Extraction des caractéristiques

* Fréquences

- ✓ Analyse spectrale : les différentes bandes de fréquences contiennent des infos différentes



Basses fréquences : allure générale, détails grossiers

1. L'ANALYSE D'IMAGES

4. Extraction des caractéristiques

* Fréquences

- ✓ Analyse spectrale : les différentes bandes de fréquences contiennent des infos différentes



Basses fréquences : allure générale, détails grossiers



Fréquences moyennes

1. L'ANALYSE D'IMAGES

4. Extraction des caractéristiques

* Fréquences

- ✓ Analyse spectrale : les différentes bandes de fréquences contiennent des infos différentes



Basses fréquences : allure générale, détails grossiers



Fréquences moyennes

Hautes fréquences :
détails fins, bruit



1. L'ANALYSE D'IMAGES

1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Extraction des caractéristiques

a) Applications

- * Médecine : détection de blessures, maladies, prévention

1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Extraction des caractéristiques

a) Applications

- * Médecine : détection de blessures, maladies, prévention



Médical (rayons X)

1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Extraction des caractéristiques

a) Applications

- * Médecine : détection de blessures, maladies, prévention



Médical (rayons X)



Médical (ultra-sons)

1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

a) Infographie vs analyse d'images

- * Plusieurs concepts appartiennent aux deux domaines

1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

a) Infographie vs analyse d'images

* Plusieurs concepts appartiennent aux deux domaines

- ✓ Textures
- ✓ Lissage
- ✓ Surfaces, courbes, volumes
- ✓ Descriptions haut niveau
- ✓ Représentation (notamment au niveau de la 3D)

1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

a) Infographie vs analyse d'images

- * Plusieurs concepts appartiennent aux deux domaines

- ✓ Textures
- ✓ Lissage
- ✓ Surfaces, courbes, volumes
- ✓ Descriptions haut niveau
- ✓ Représentation (notamment au niveau de la 3D)

- * La synthèse veut (entre autres) imiter l'acquisition

- ✓ Certaines applications nécessitent les deux domaines :

- ➔ Au cinéma, pour ajouter un objet synthétique à une scène il faut d'abord le synthétiser mais également l'adapter à la scène actuelle (analyse)
- ➔ Fabrication d'images synthétiques pour valider un système d'analyse d'images

1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

a) Où se situe l'analyse d'images?

Sciences de l'image

1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

a) Où se situe l'analyse d'images?

Sciences de l'image



The diagram consists of a large white rectangular box with a thin grey border. Inside this box, at the top left, is the text "Sciences de l'image". In the center of the box is a smaller, light blue square. Inside this blue square is the word "Image". The blue square has a subtle drop shadow, making it appear to float slightly above the white background.

Image

1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

a) Où se situe l'analyse d'images?

Sciences de l'image

Image

Description d'un
modèle

1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

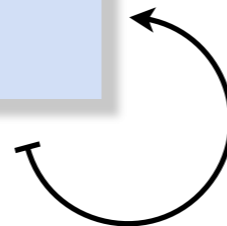
a) Où se situe l'analyse d'images?

Sciences de l'image

Image

Description d'un
modèle

Modélisation
géométrique

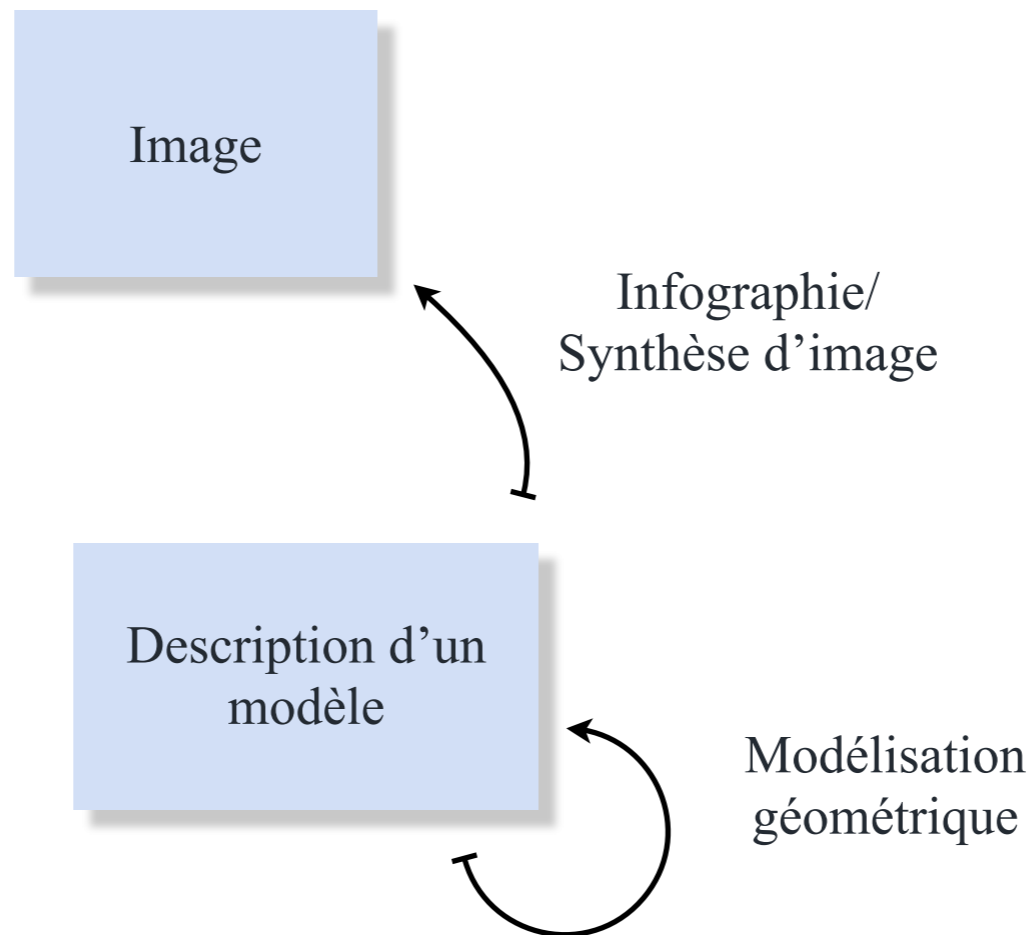


1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

a) Où se situe l'analyse d'images?

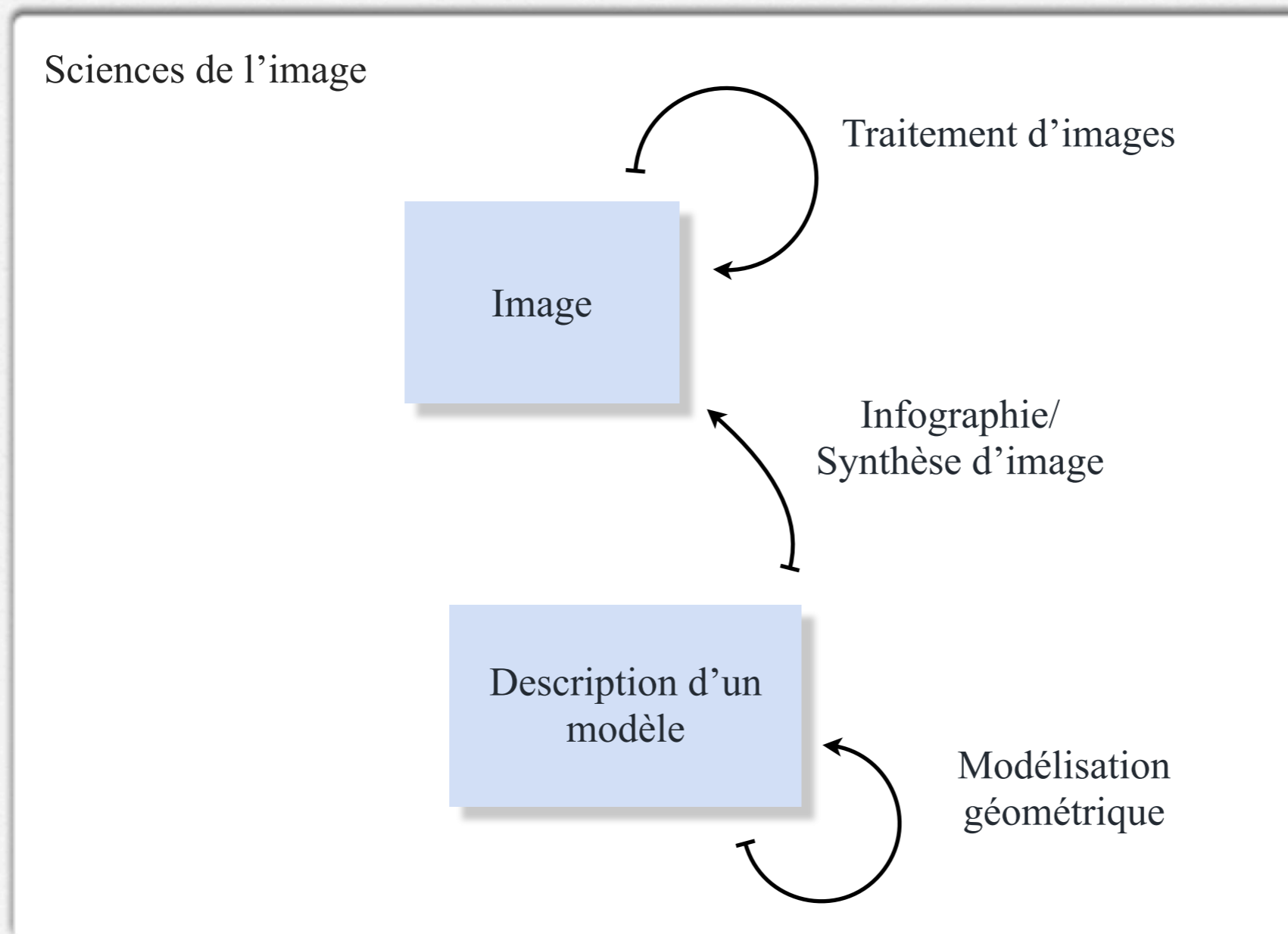
Sciences de l'image



1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

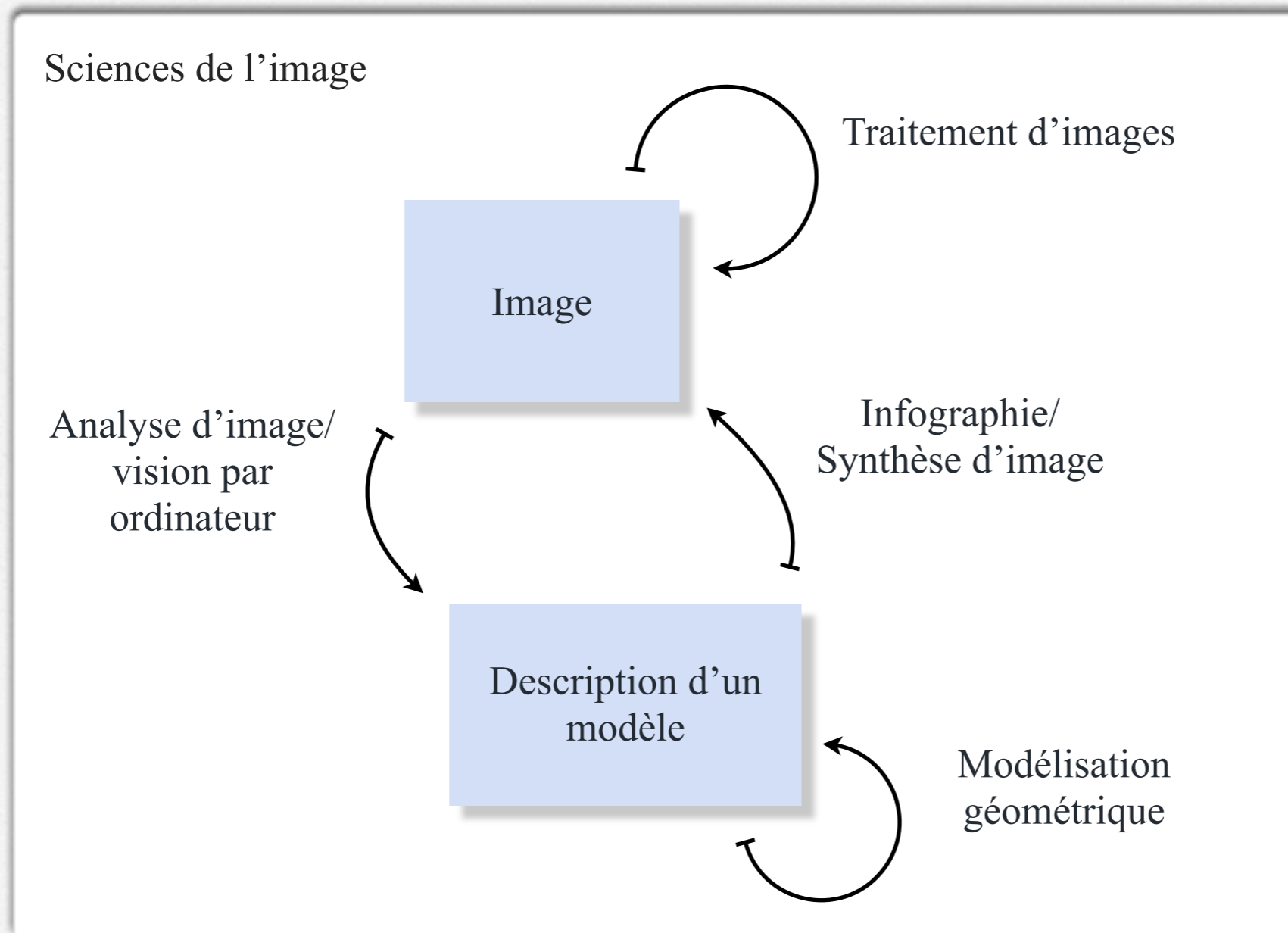
a) Où se situe l'analyse d'images?



1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

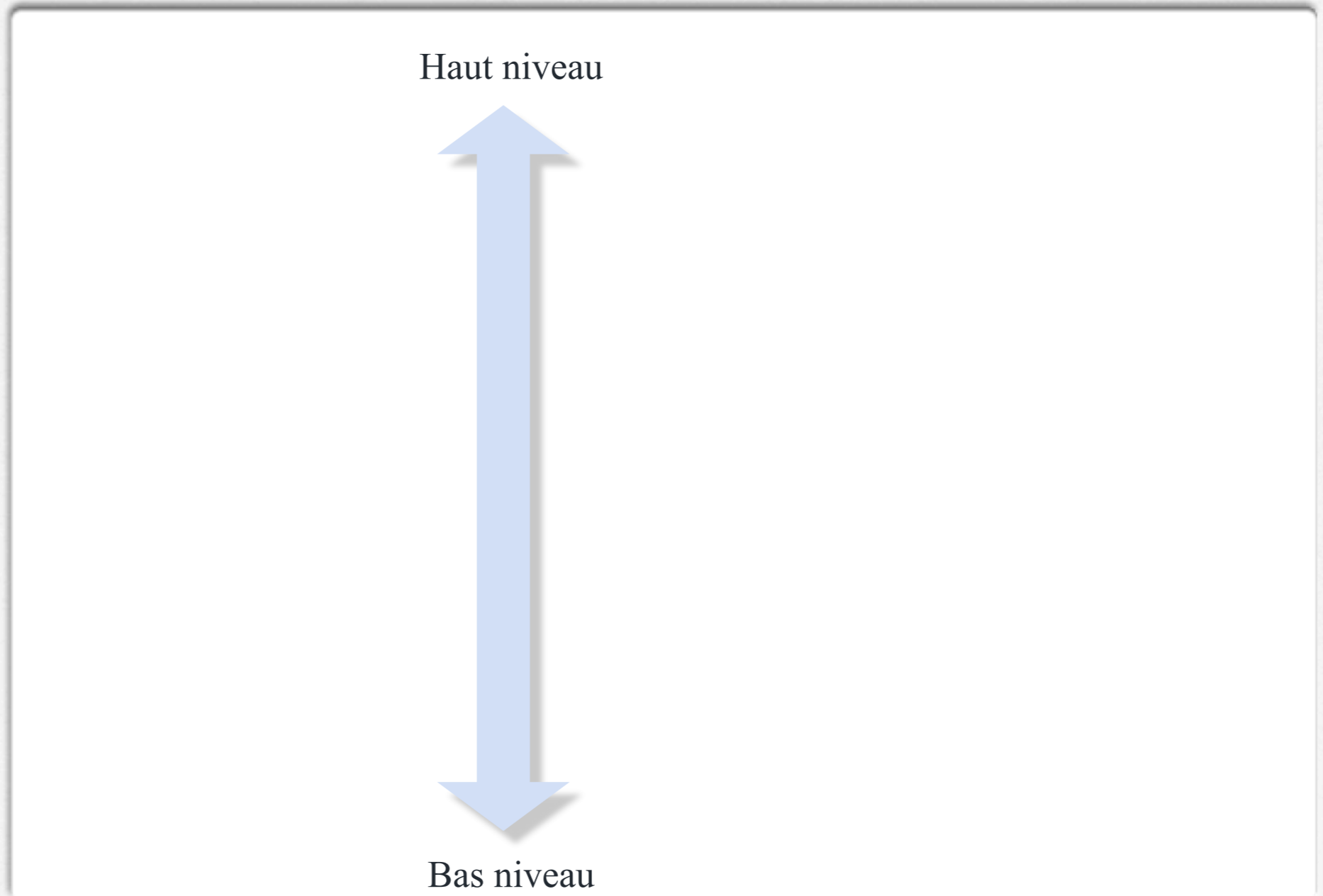
a) Où se situe l'analyse d'images?



1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

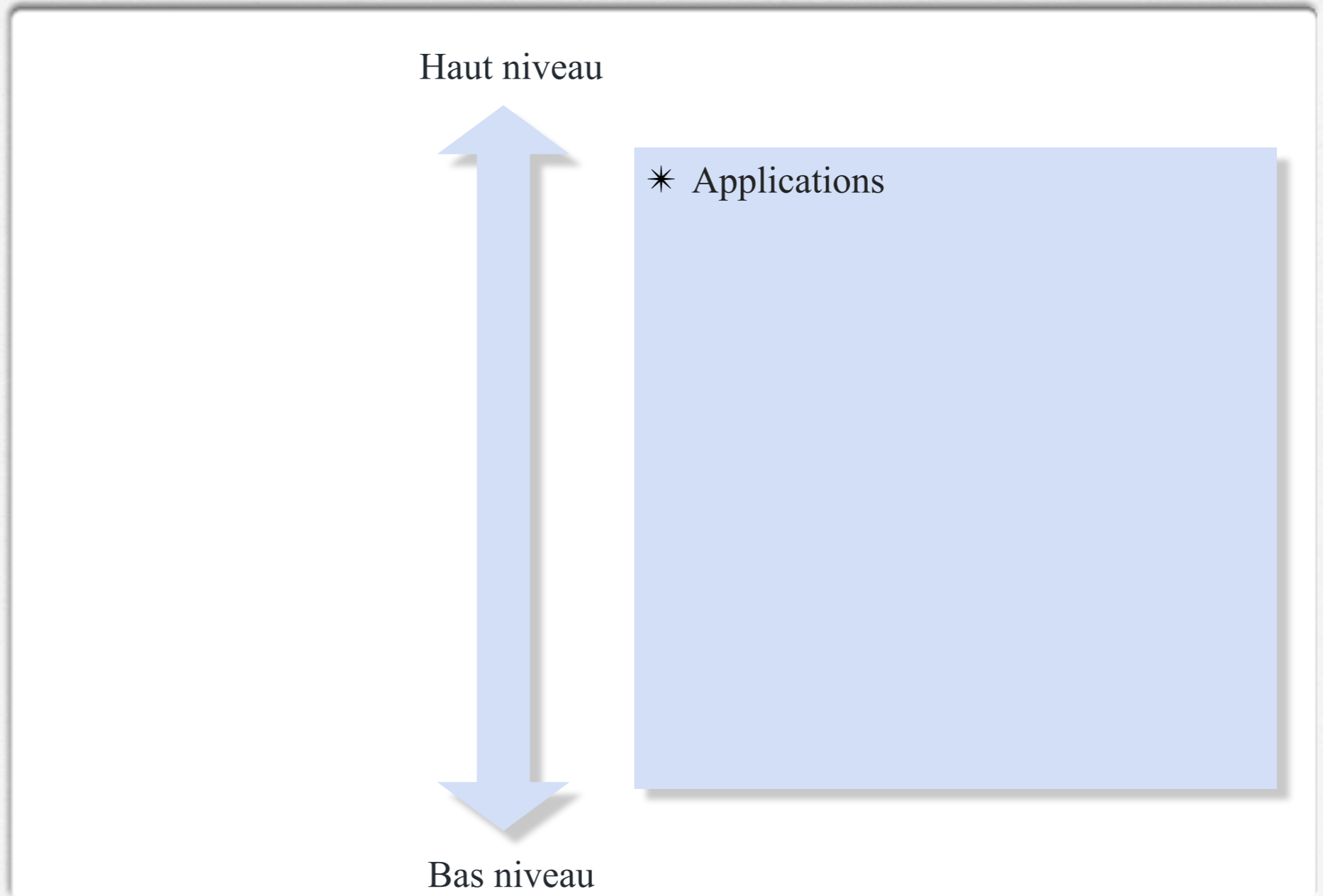
a) Où se situe l'analyse d'images?



1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

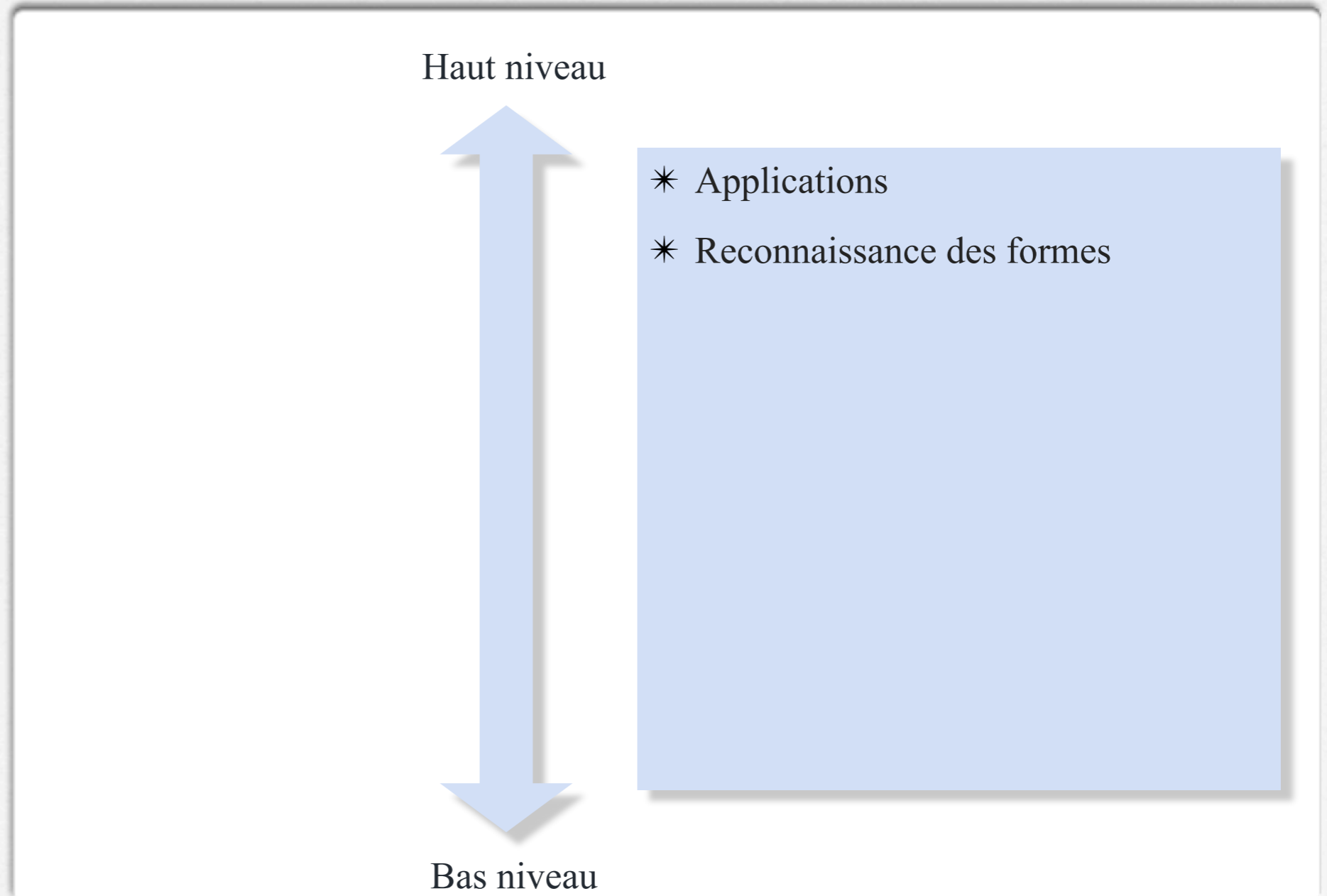
a) Où se situe l'analyse d'images?



1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

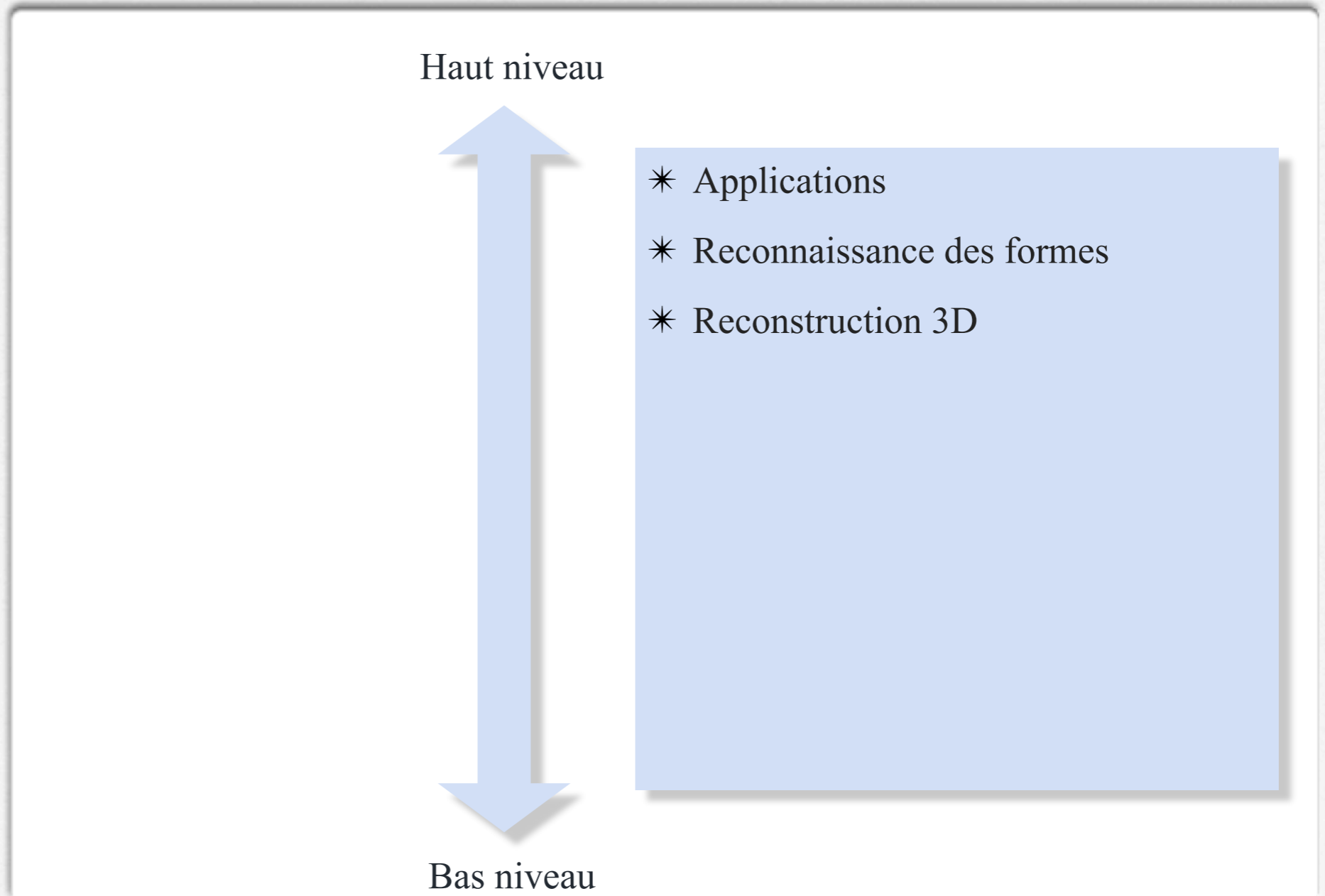
a) Où se situe l'analyse d'images?



1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

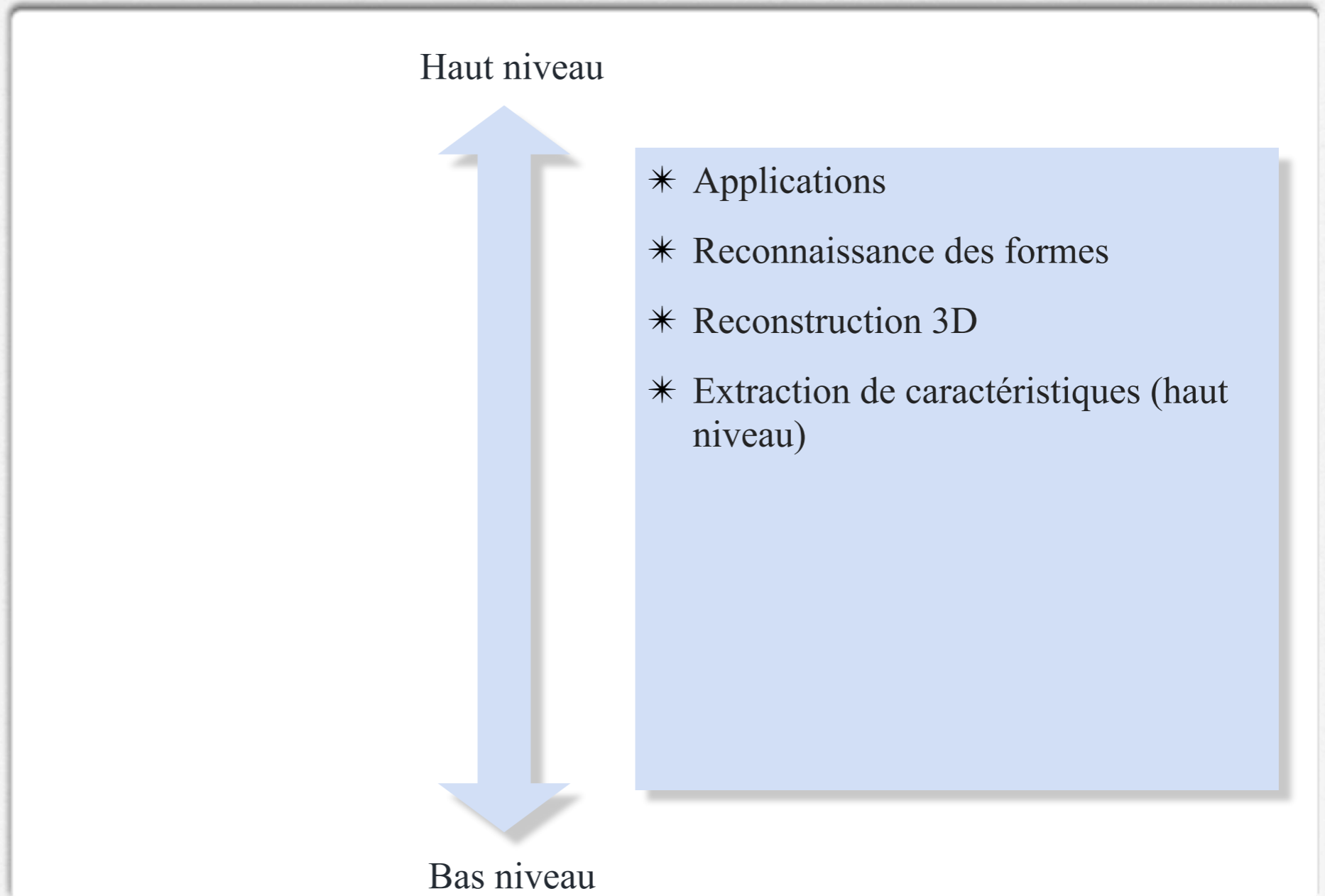
a) Où se situe l'analyse d'images?



1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

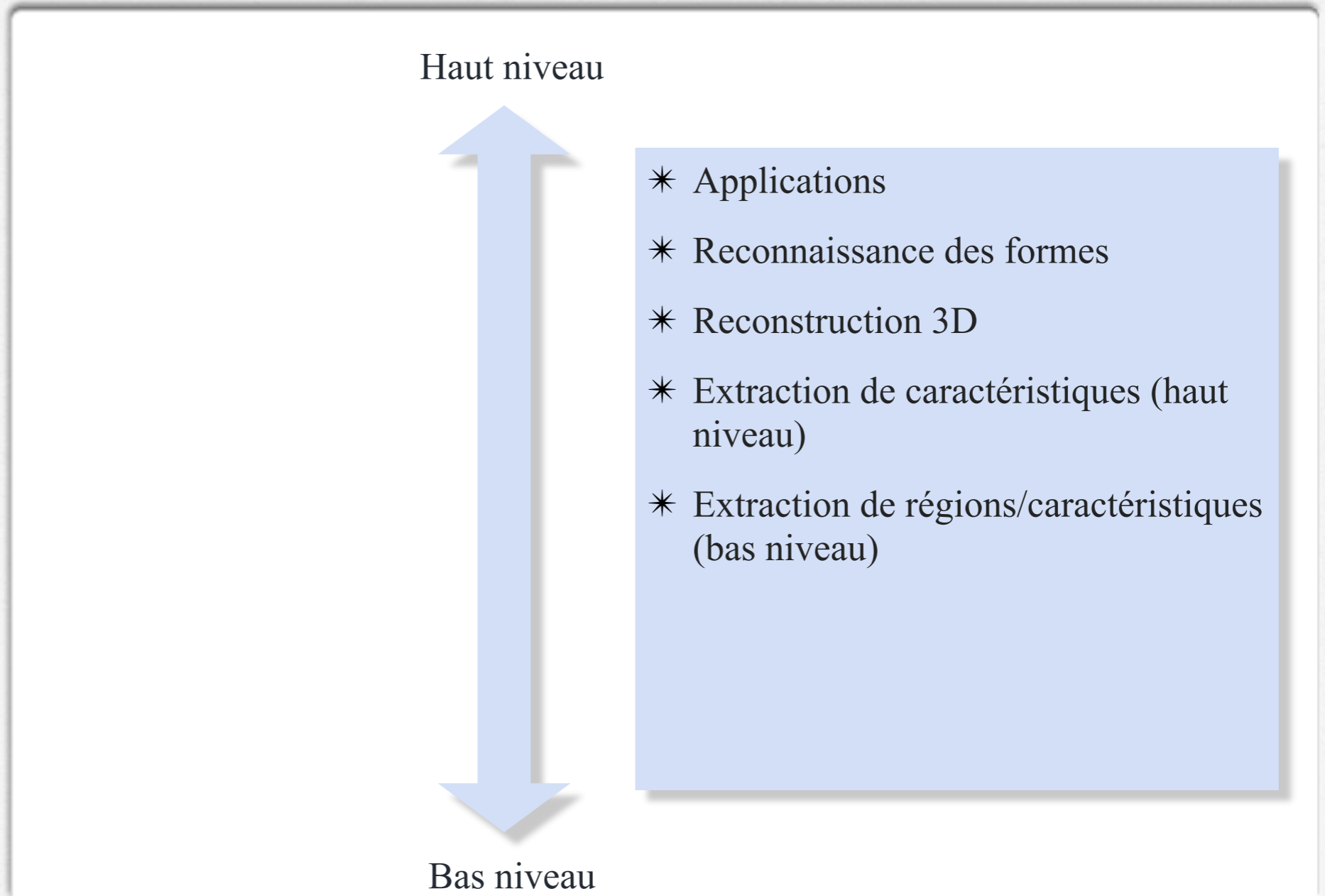
a) Où se situe l'analyse d'images?



1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

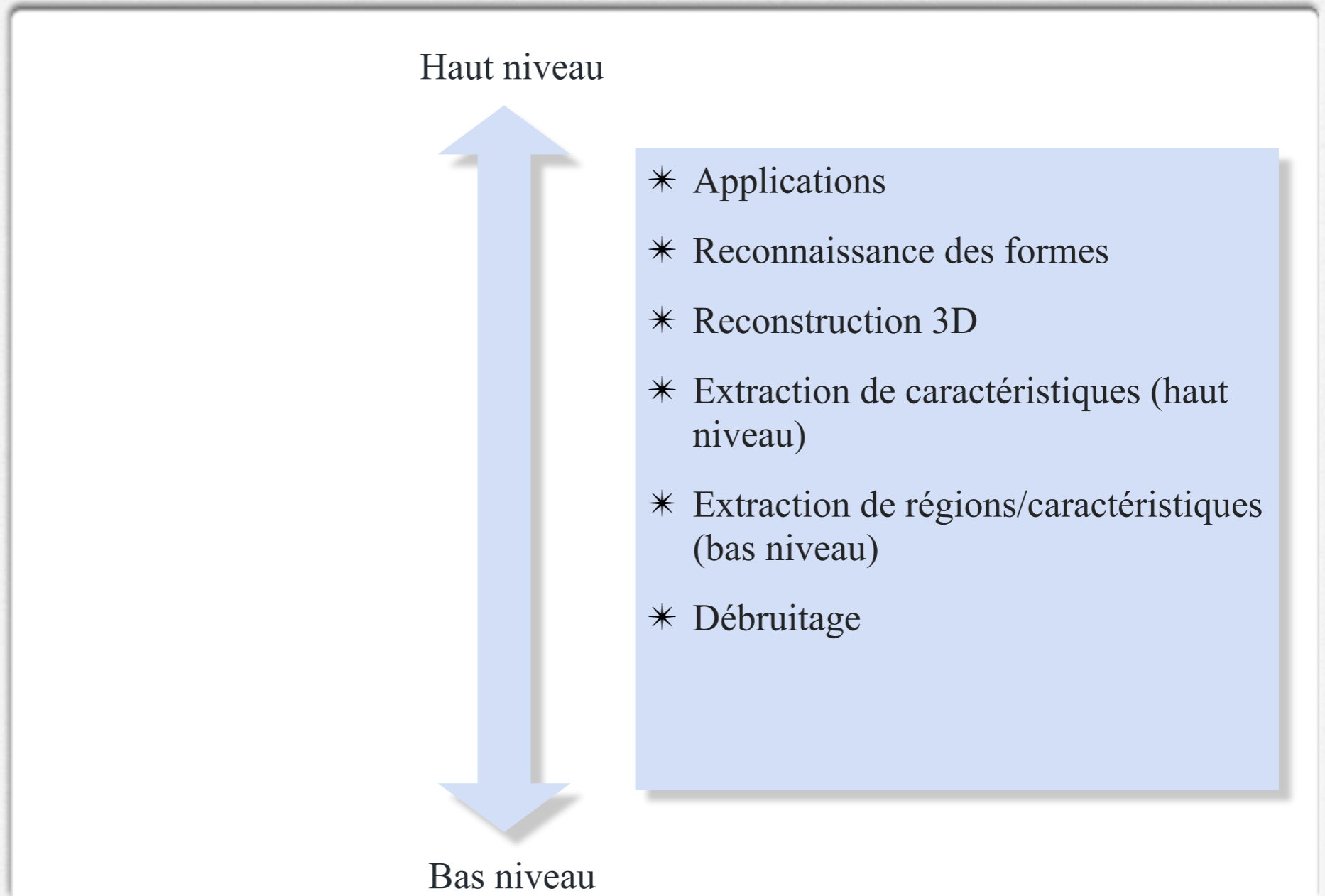
a) Où se situe l'analyse d'images?



1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

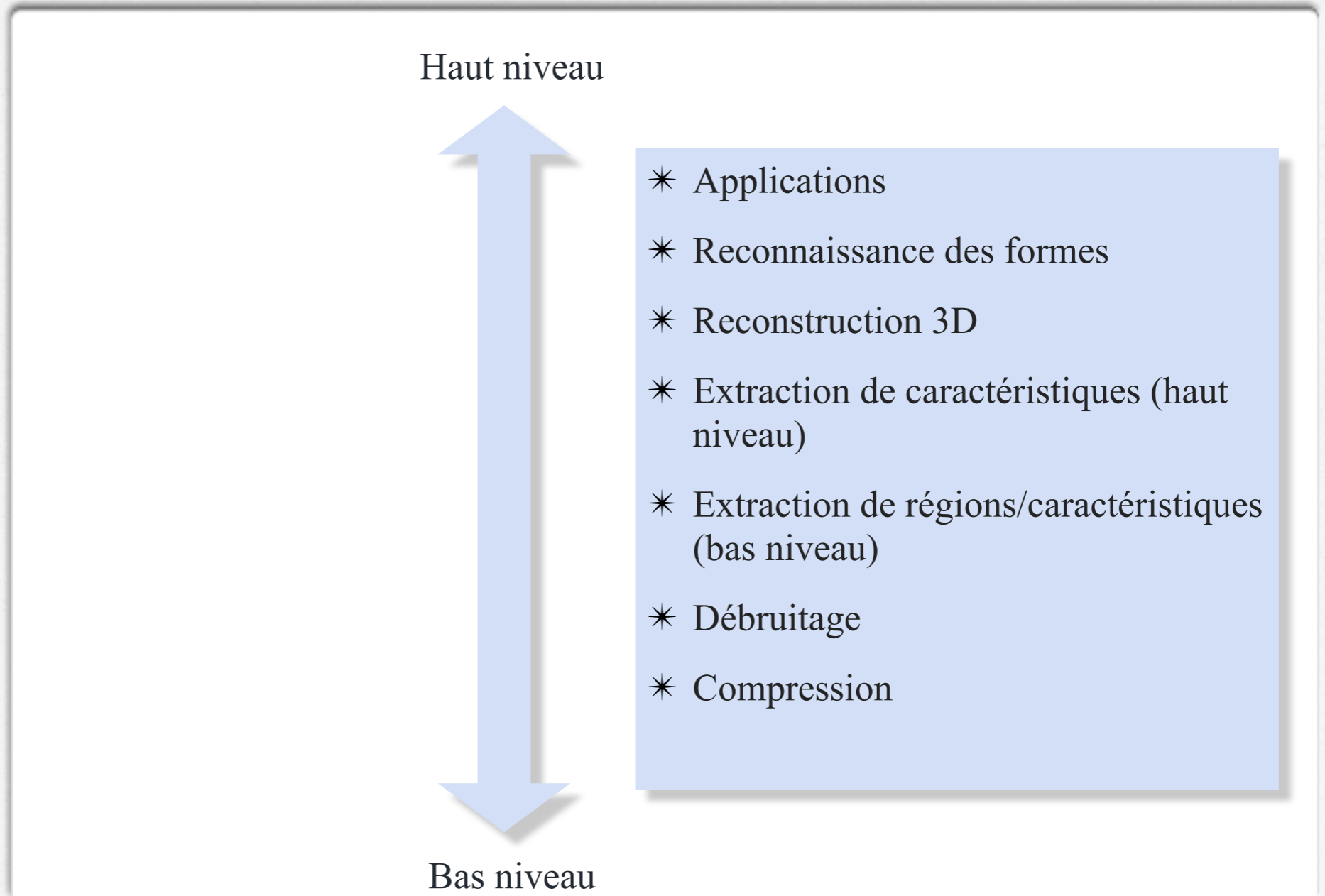
a) Où se situe l'analyse d'images?



1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

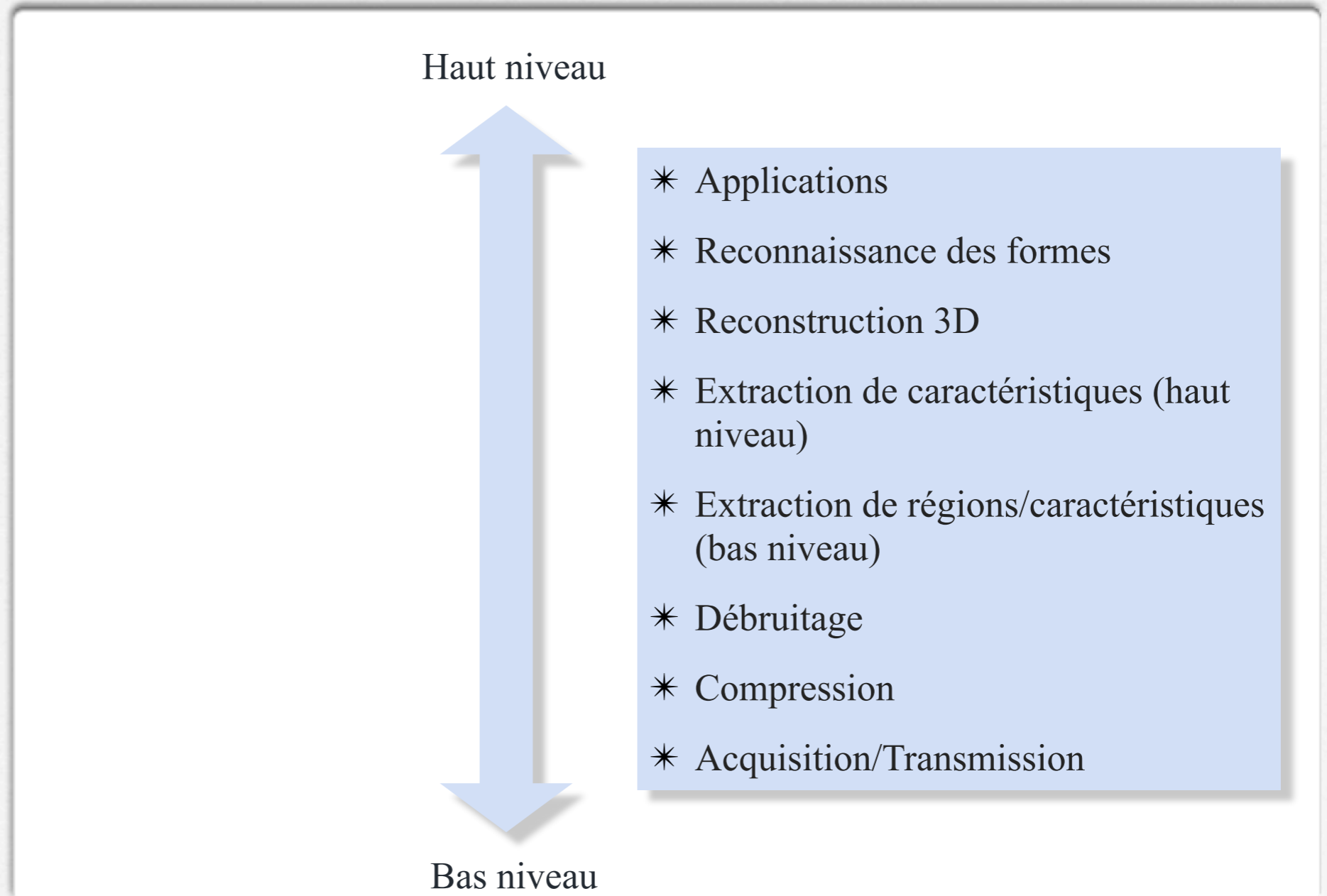
a) Où se situe l'analyse d'images?



1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

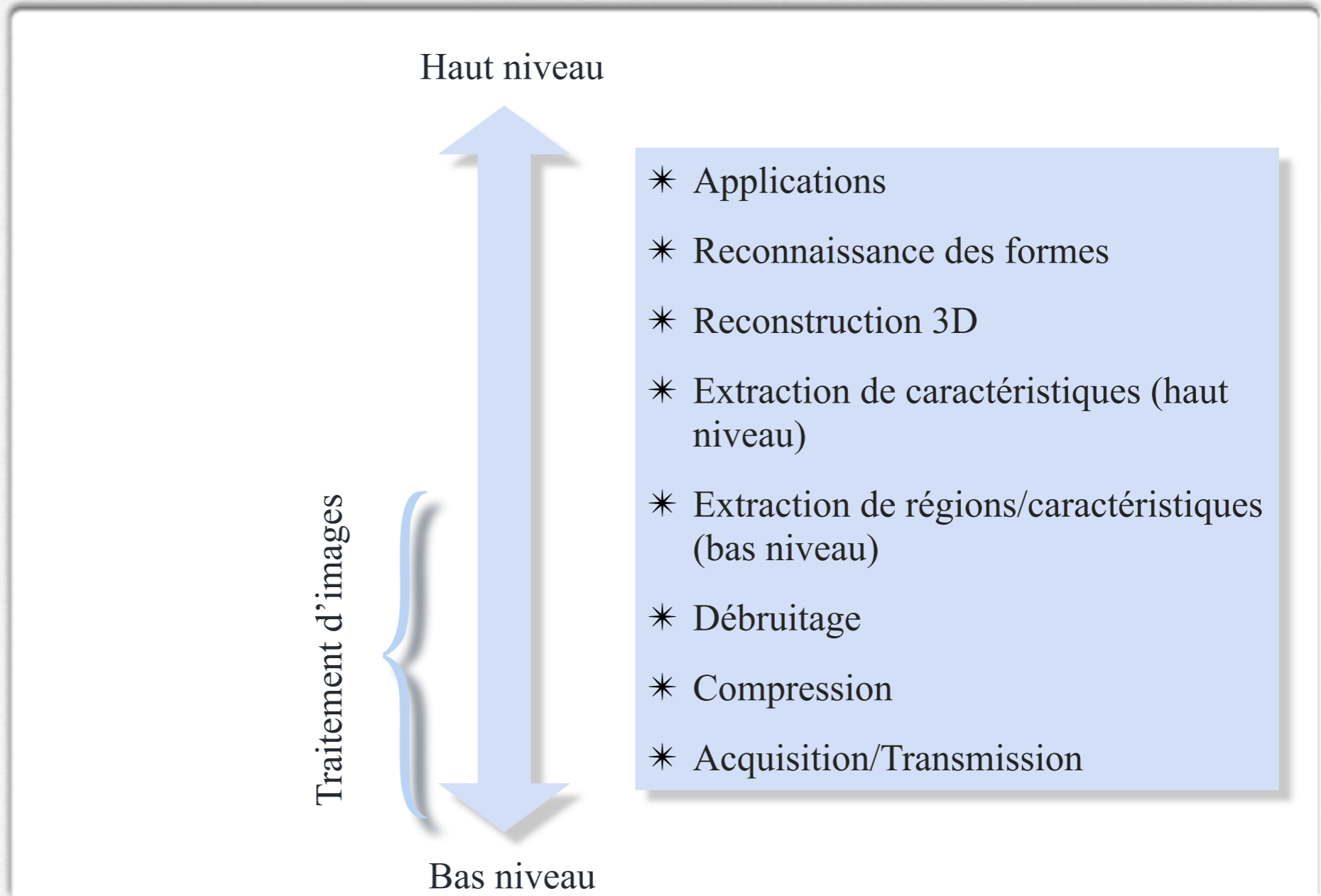
a) Où se situe l'analyse d'images?



1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

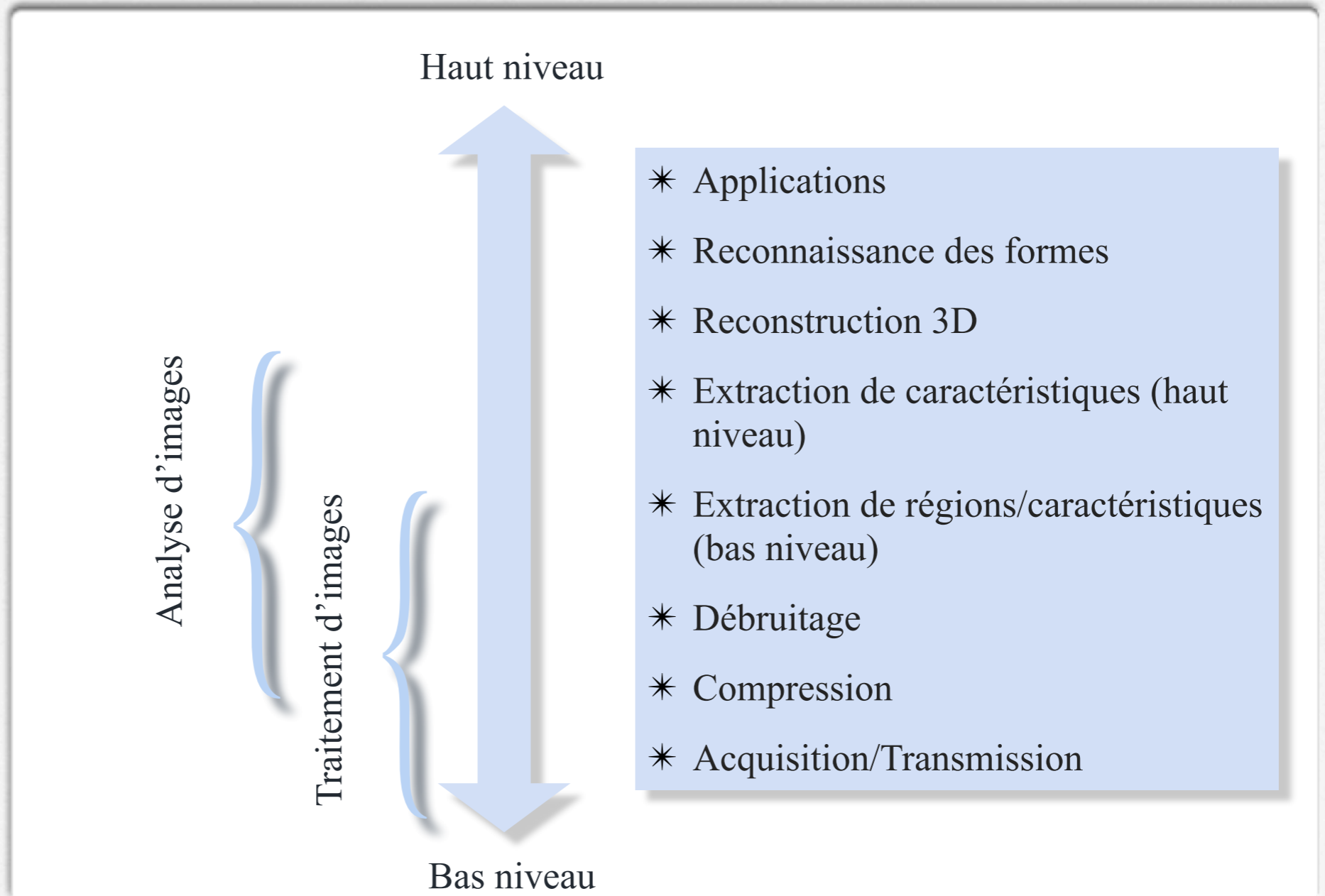
a) Où se situe l'analyse d'images?



1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

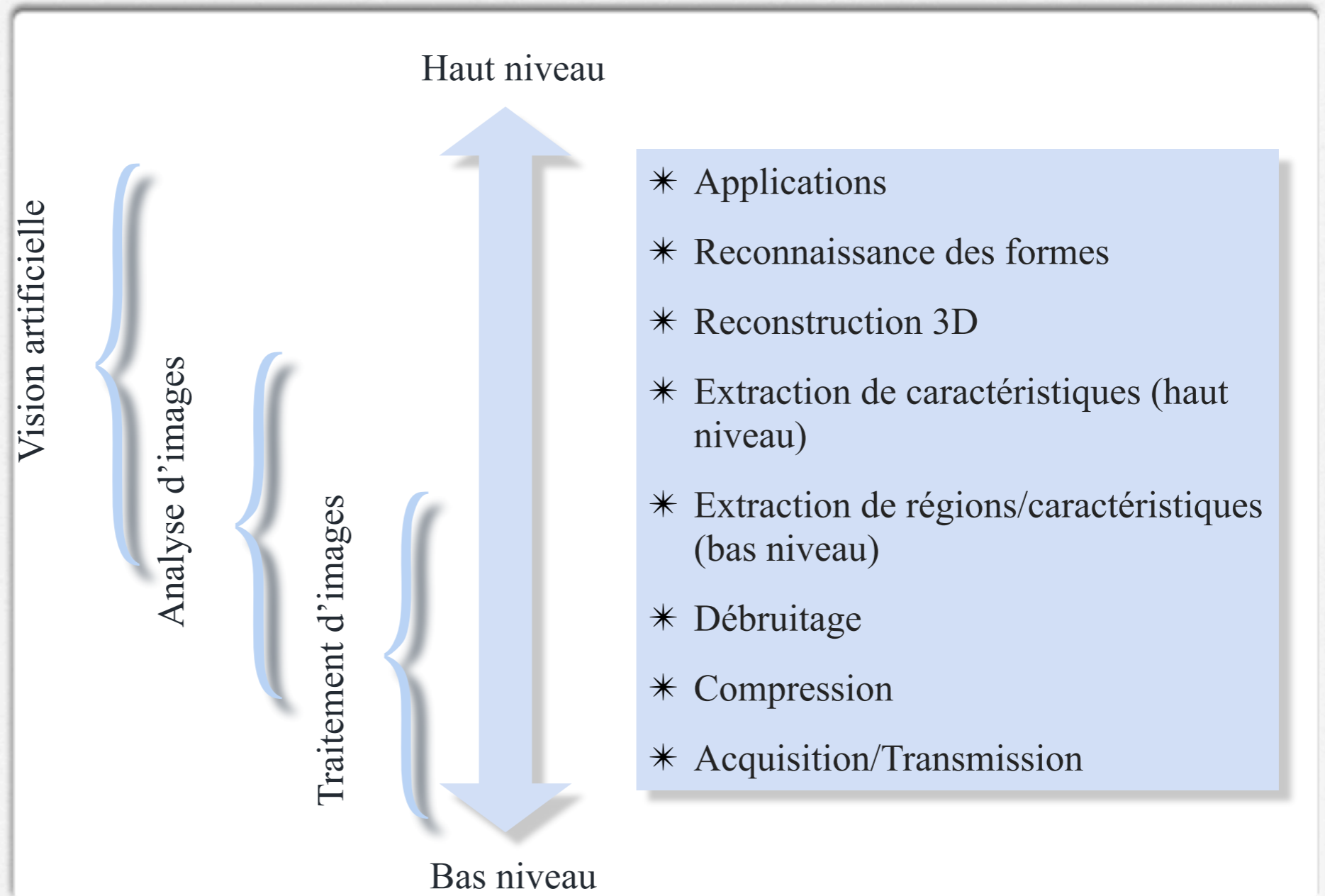
a) Où se situe l'analyse d'images?



1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

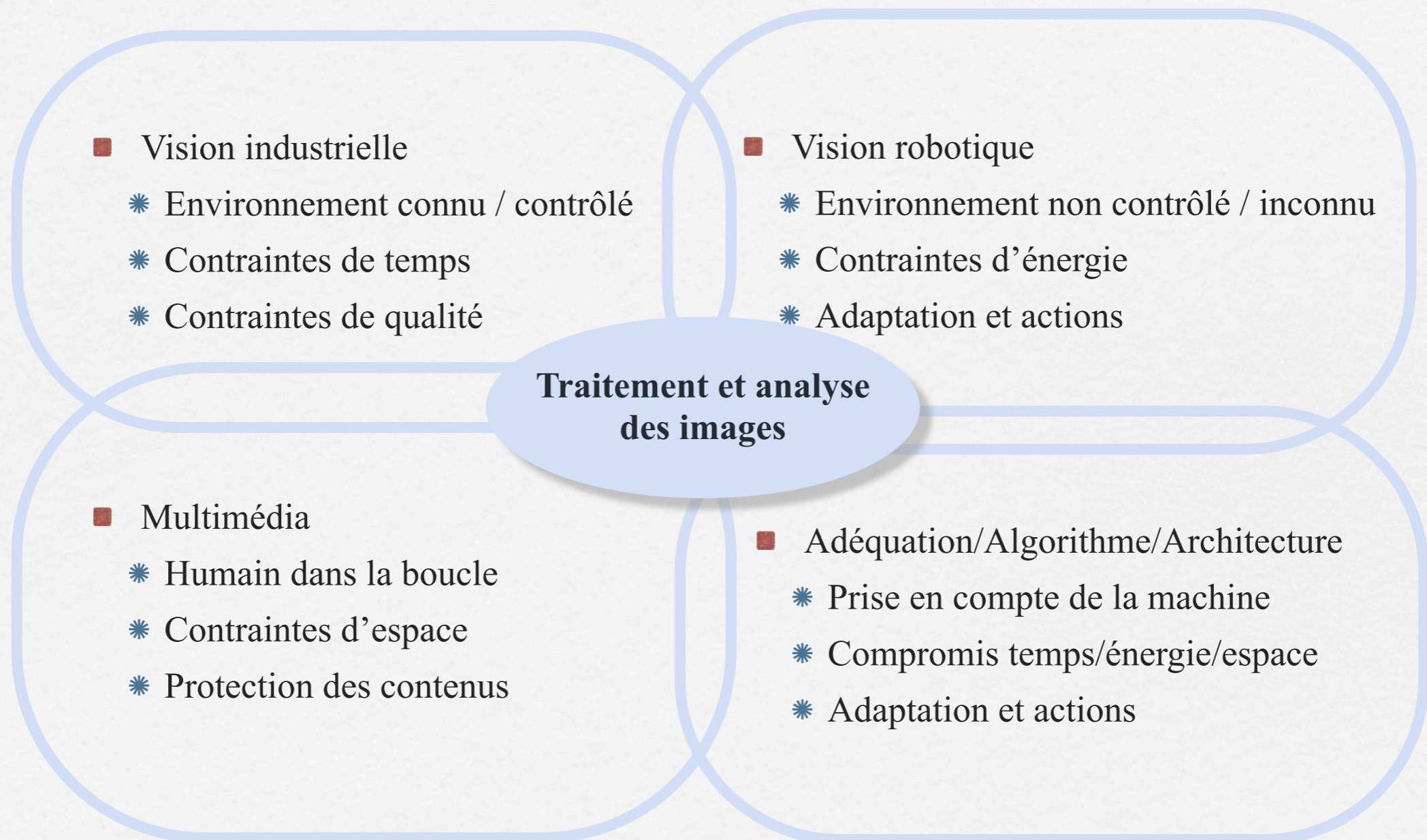
a) Où se situe l'analyse d'images?



1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

a) Où se situe l'analyse d'images?



1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

c) Étapes d'un système d'AI

Systeme 2D

Univers

1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

c) Étapes d'un système d'AI

Systeme 2D

Univers



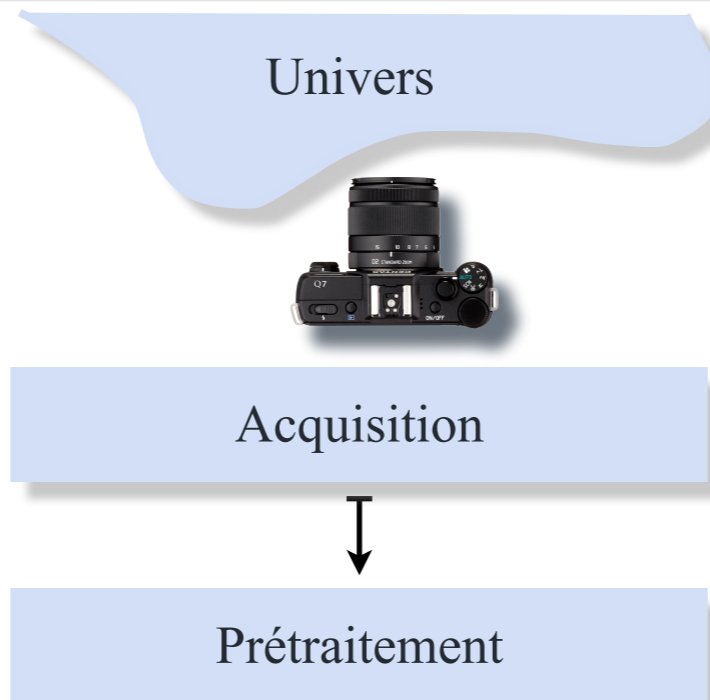
Acquisition

1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

c) Étapes d'un système d'AI

Systeme 2D

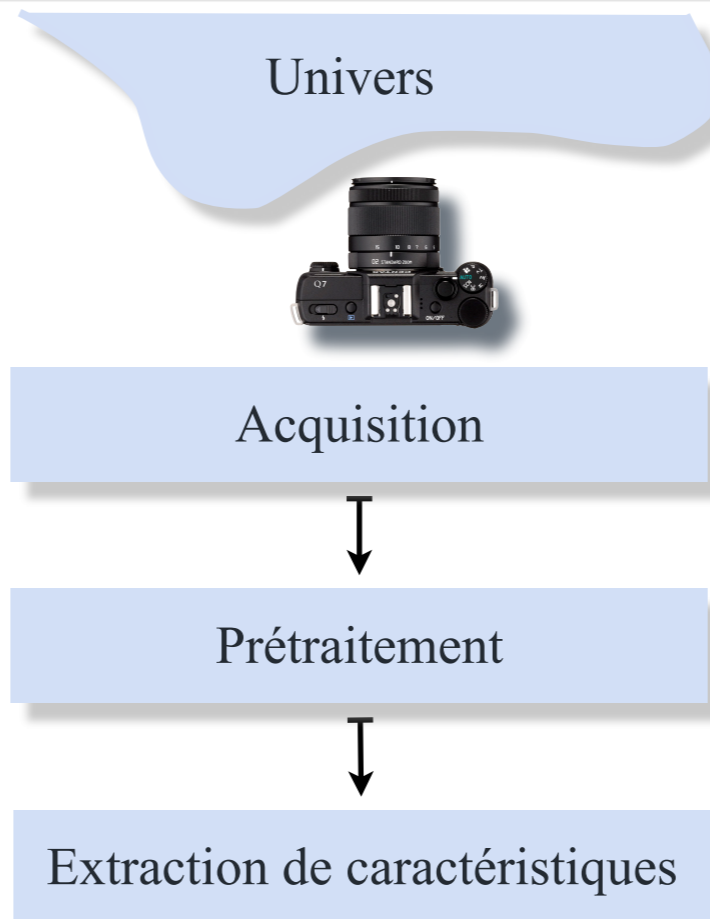


1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

c) Étapes d'un système d'AI

Systeme 2D

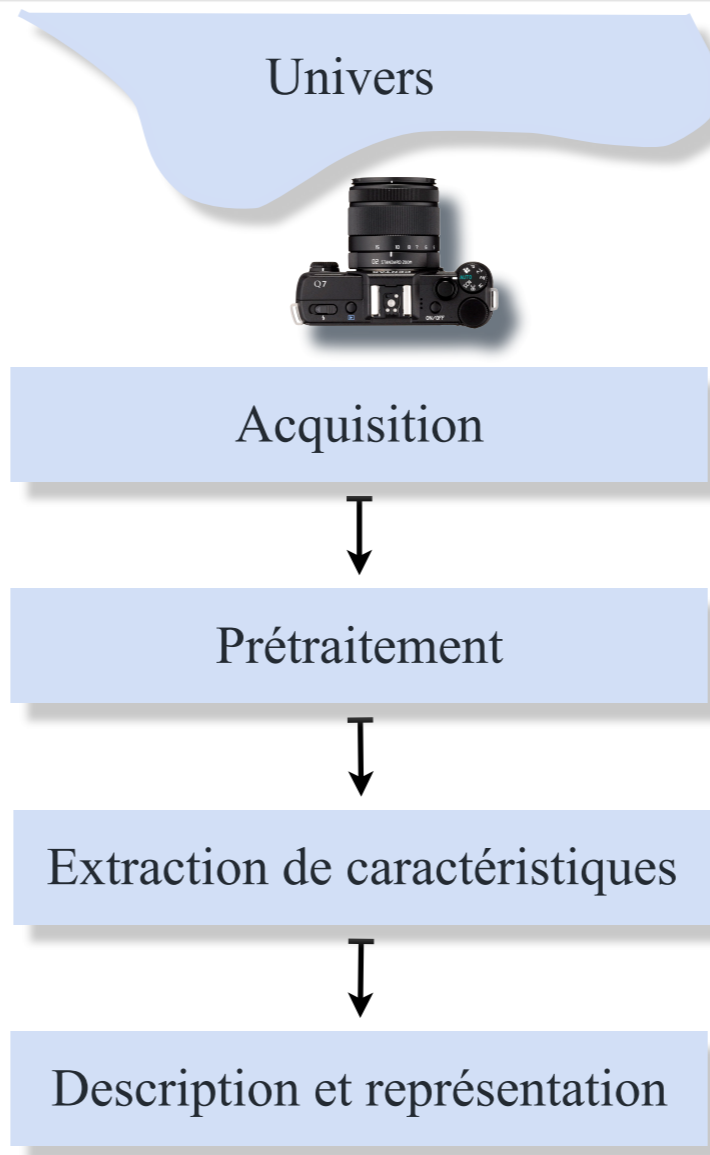


1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

c) Étapes d'un système d'AI

Systeme 2D

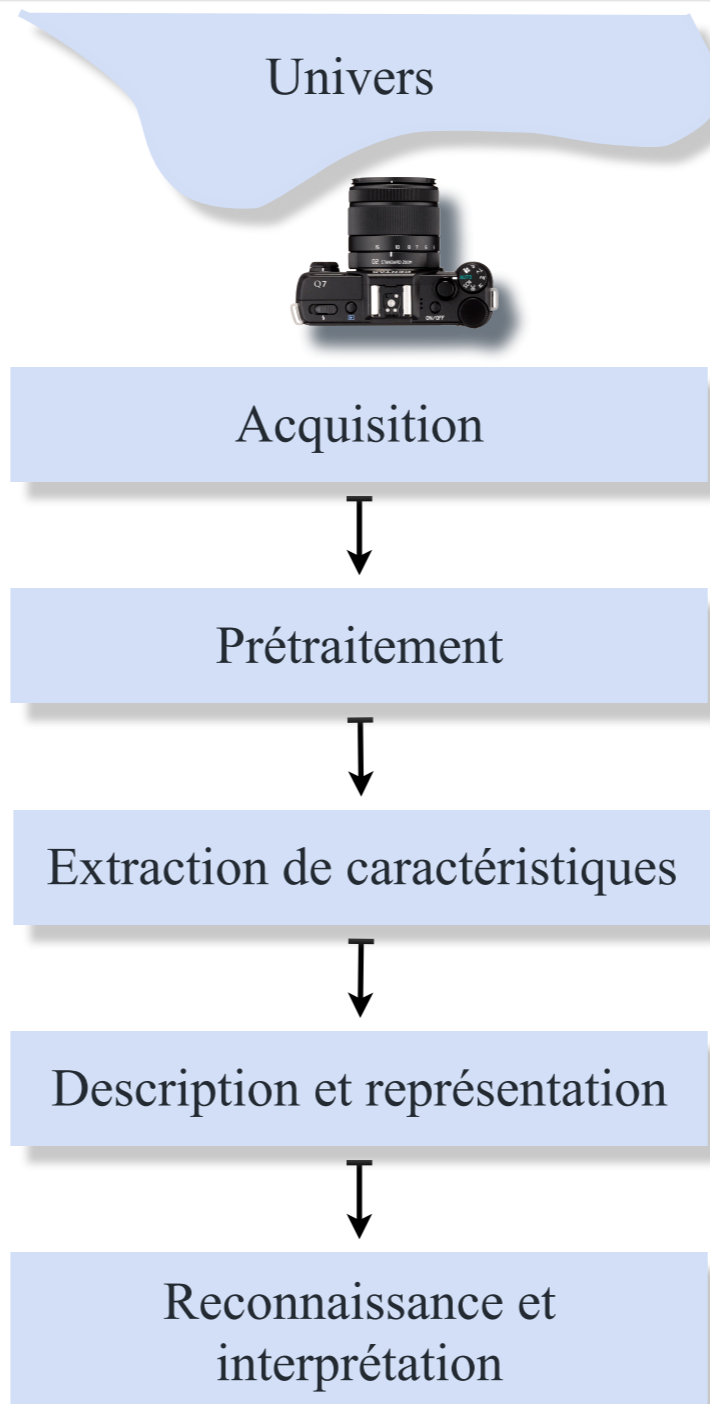


1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

c) Étapes d'un système d'AI

Systeme 2D

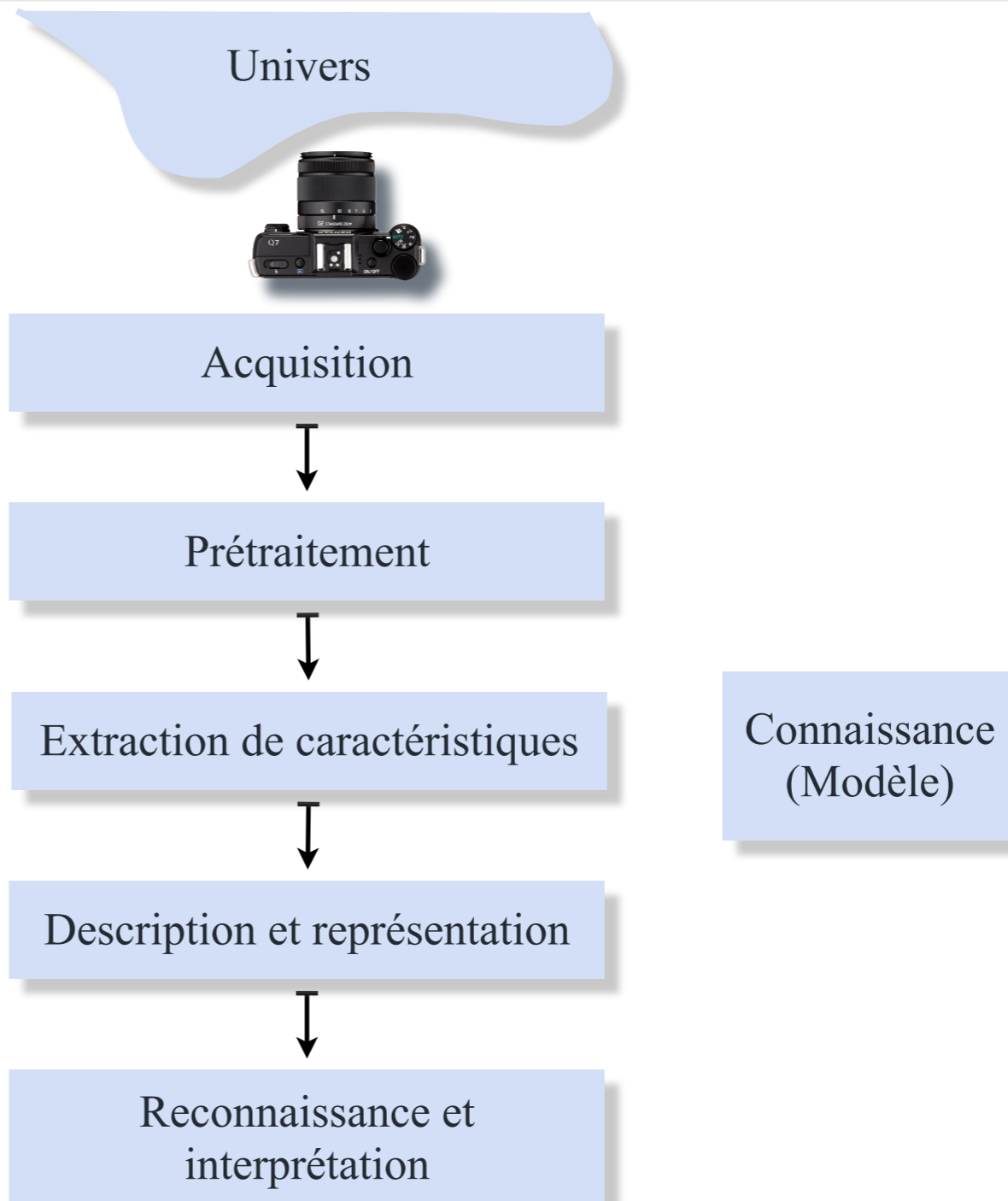


1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

c) Étapes d'un système d'AI

Systeme 2D

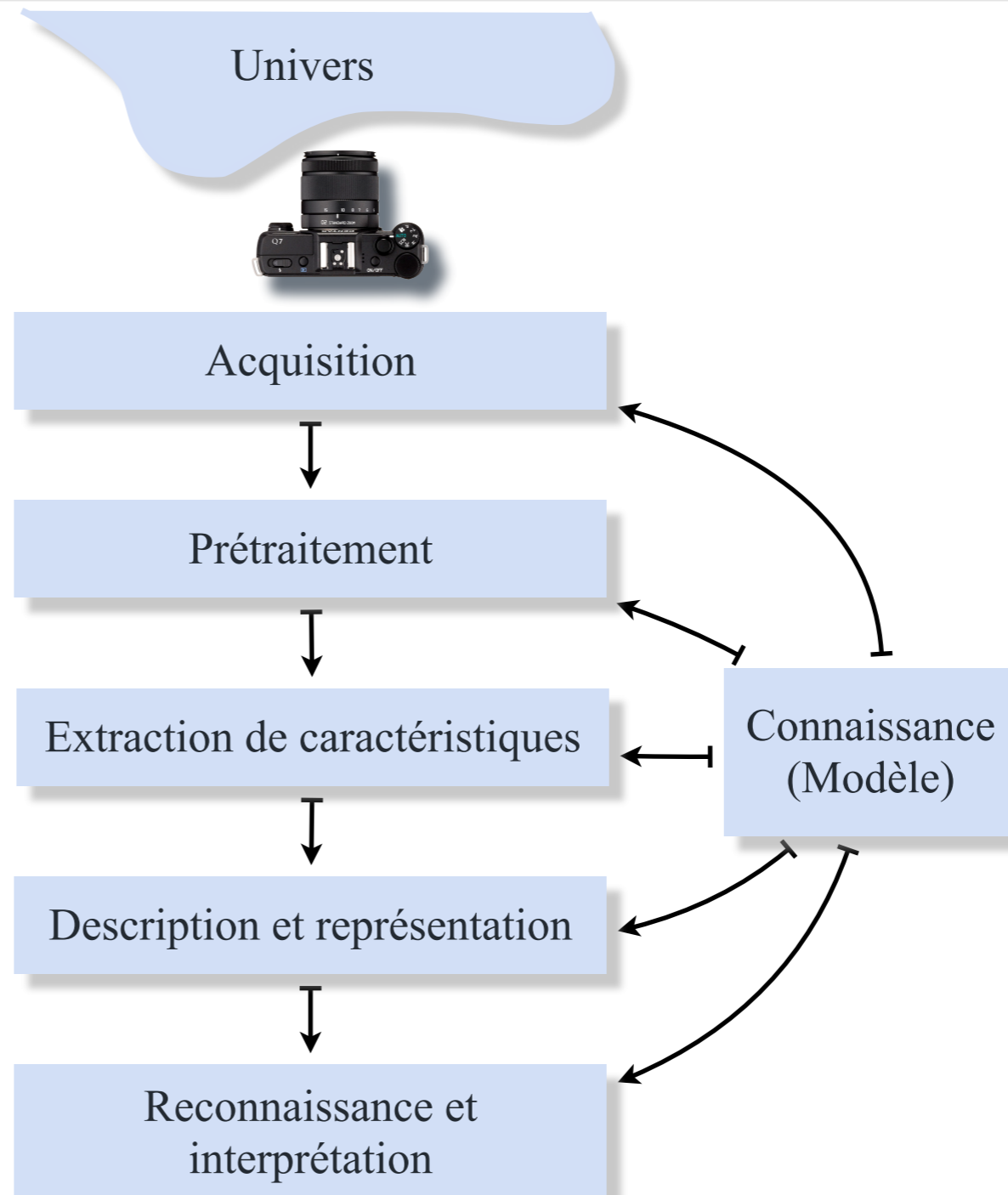


1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

c) Étapes d'un système d'AI

Systeme 2D



1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

c) Étapes d'un système d'AI

Systeme 2D

IMN117

Univers



Acquisition

Prétraitement

Extraction de caractéristiques

Description et représentation

Reconnaissance et interprétation

Connaissance (Modèle)

1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

c) Étapes d'un système d'AI

Systeme 2D

IMN117

IMN259

Univers



Acquisition

Prétraitement

Extraction de caractéristiques

Description et représentation

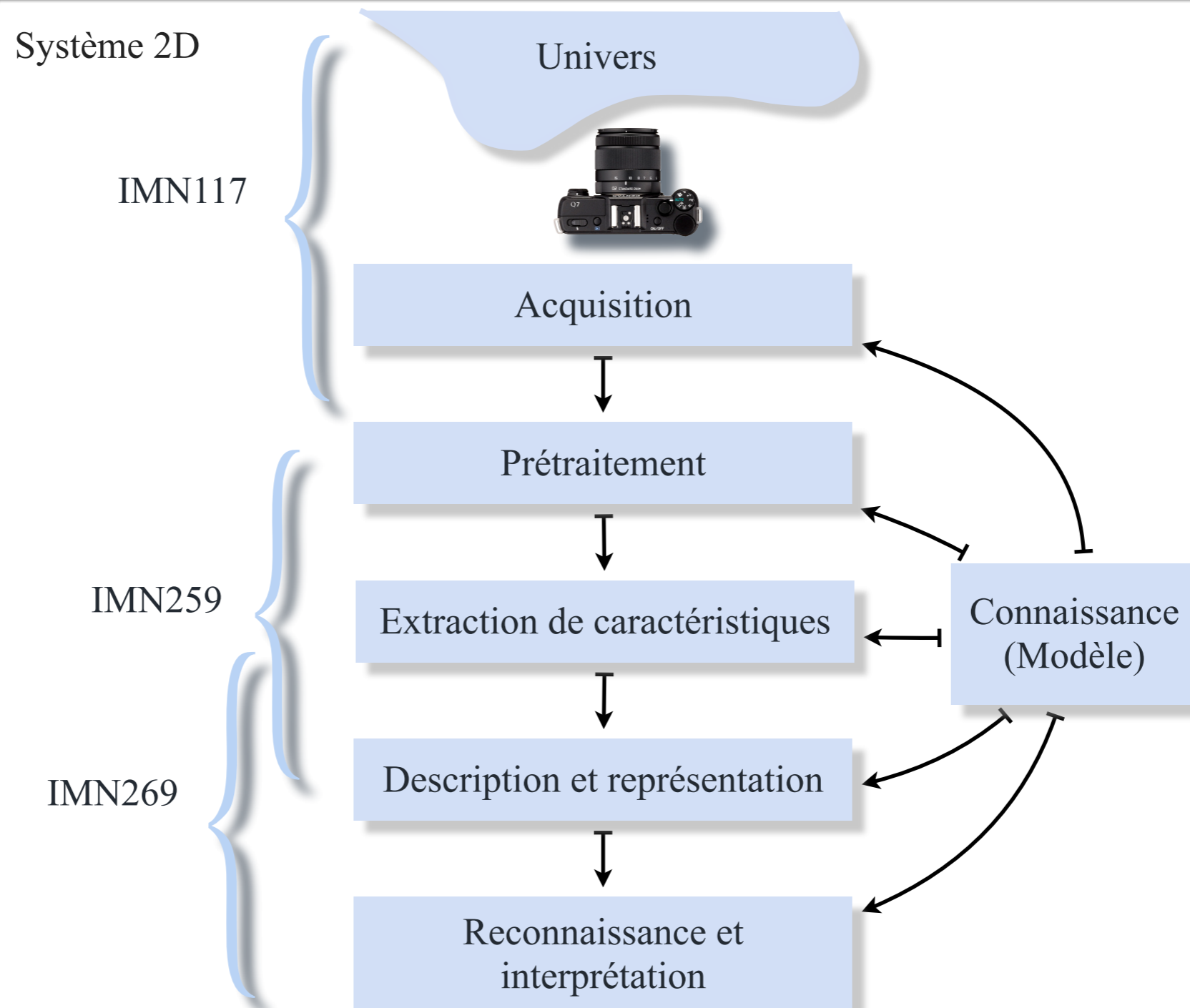
Reconnaissance et interprétation

Connaissance (Modèle)

1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

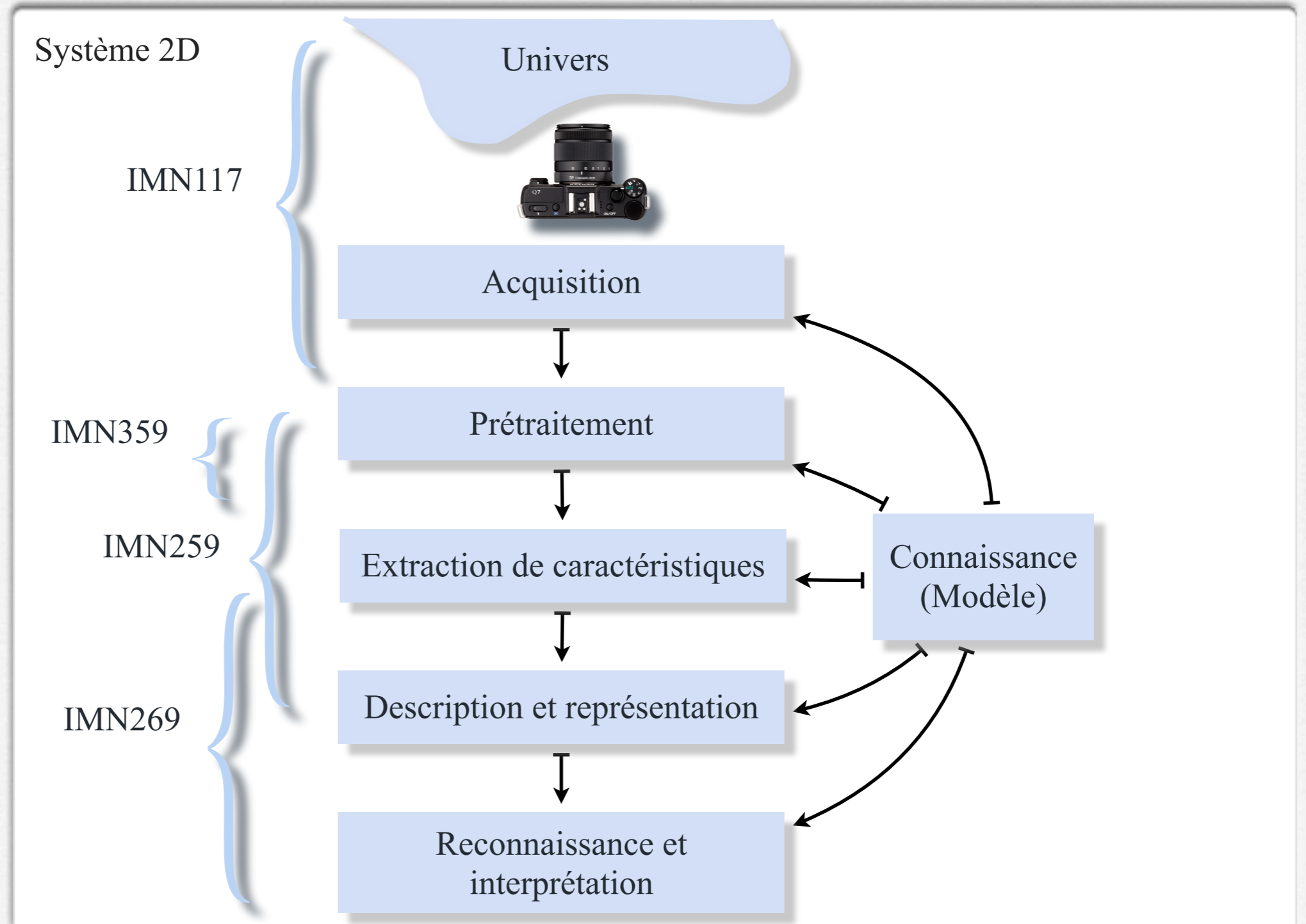
c) Étapes d'un système d'AI



1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

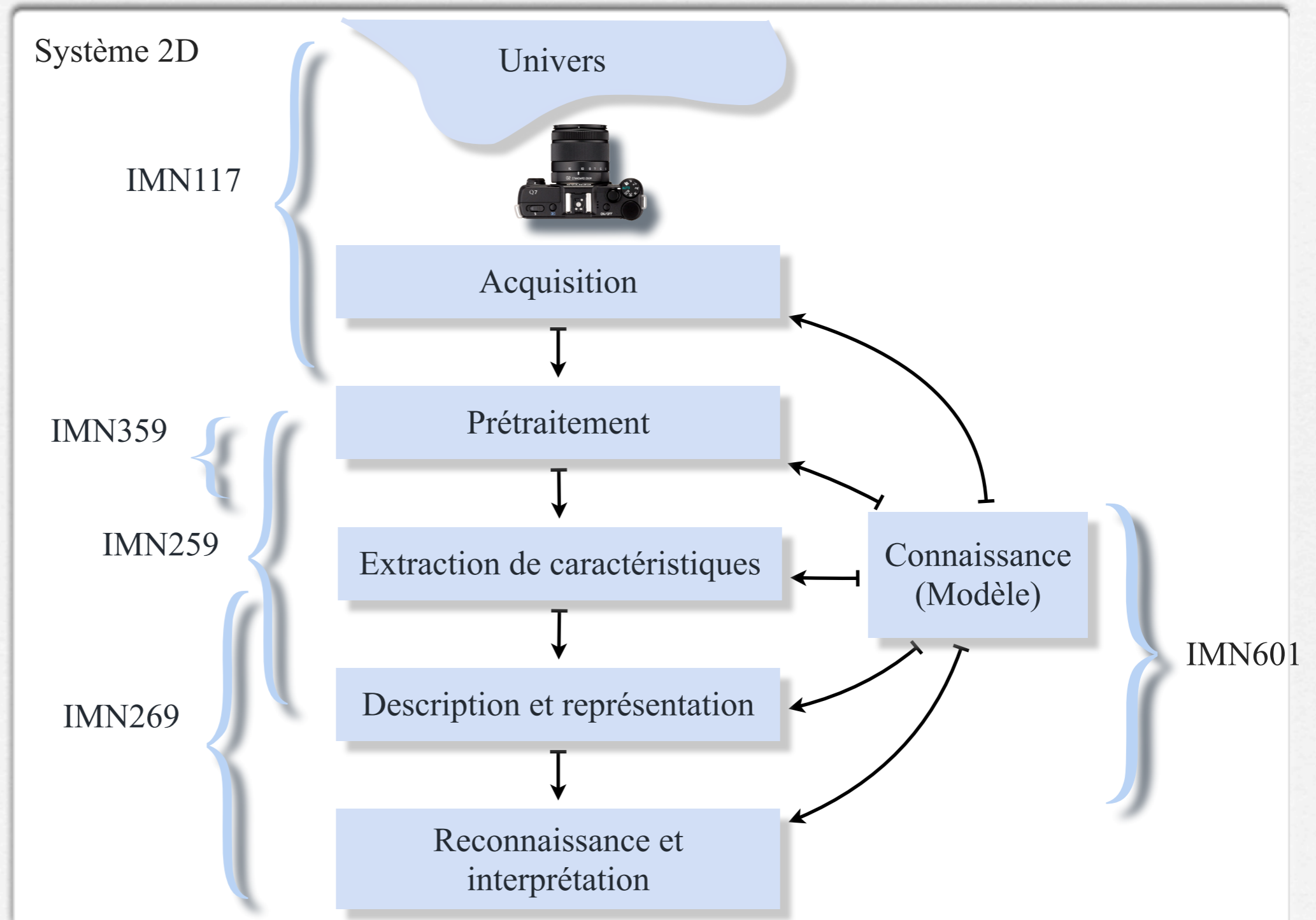
c) Étapes d'un système d'AI



1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

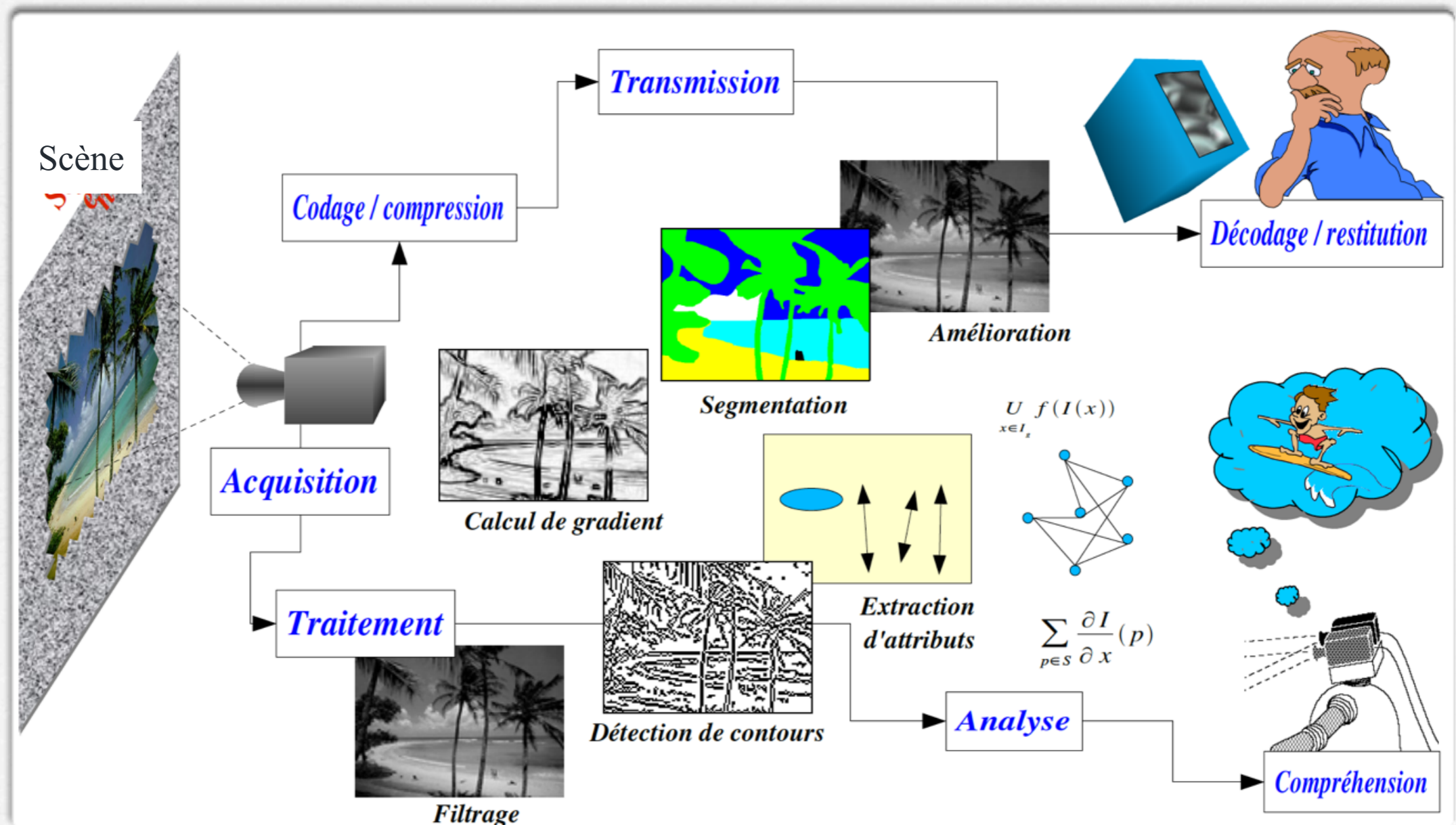
c) Étapes d'un système d'AI



1. L'ANALYSE D'IMAGES

5. Contexte

c) Étapes d'un système d'AI



PLAN

1. L'analyse d'images

2. Images numériques

2.1. Qu'est-ce qu'une image?

2.2. Images matricielles

2.3. Formats

2.4. Modèles d'images

2. IMAGES NUMÉRIQUES

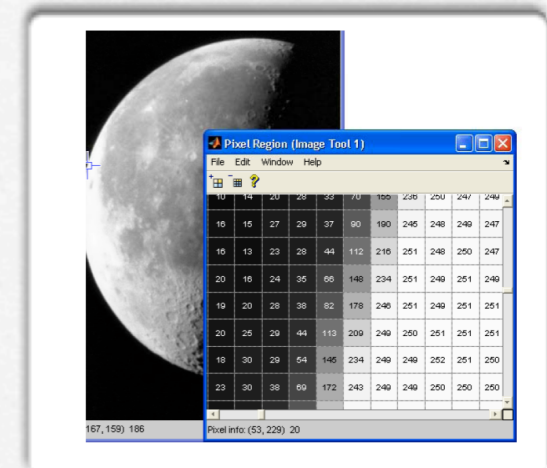
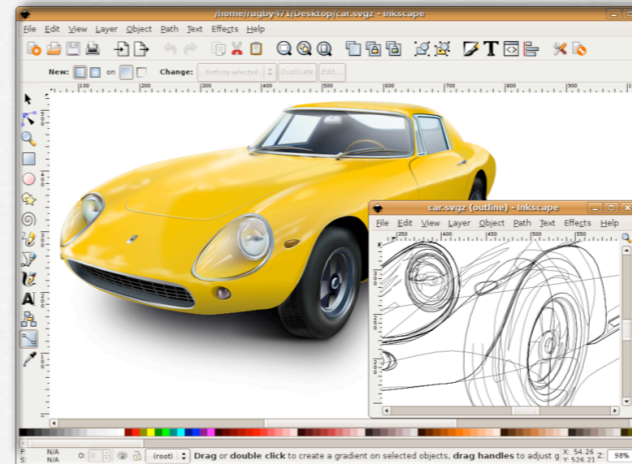
1. Qu'est-ce qu'une image?

- * Une image est avant tout un signal 2D
 - ✓ Représentation d'une scène dans un ordinateur
 - ➔ Exemples : photo, image Rayon-X, échographie, radar, ...

2. IMAGES NUMÉRIQUES

1. Qu'est-ce qu'une image?

- * Une image est avant tout un signal 2D
 - ✓ Représentation d'une scène dans un ordinateur
 - ➔ Exemples : photo, image Rayon-X, échographie, radar, ...
- * Deux types d'images numériques :



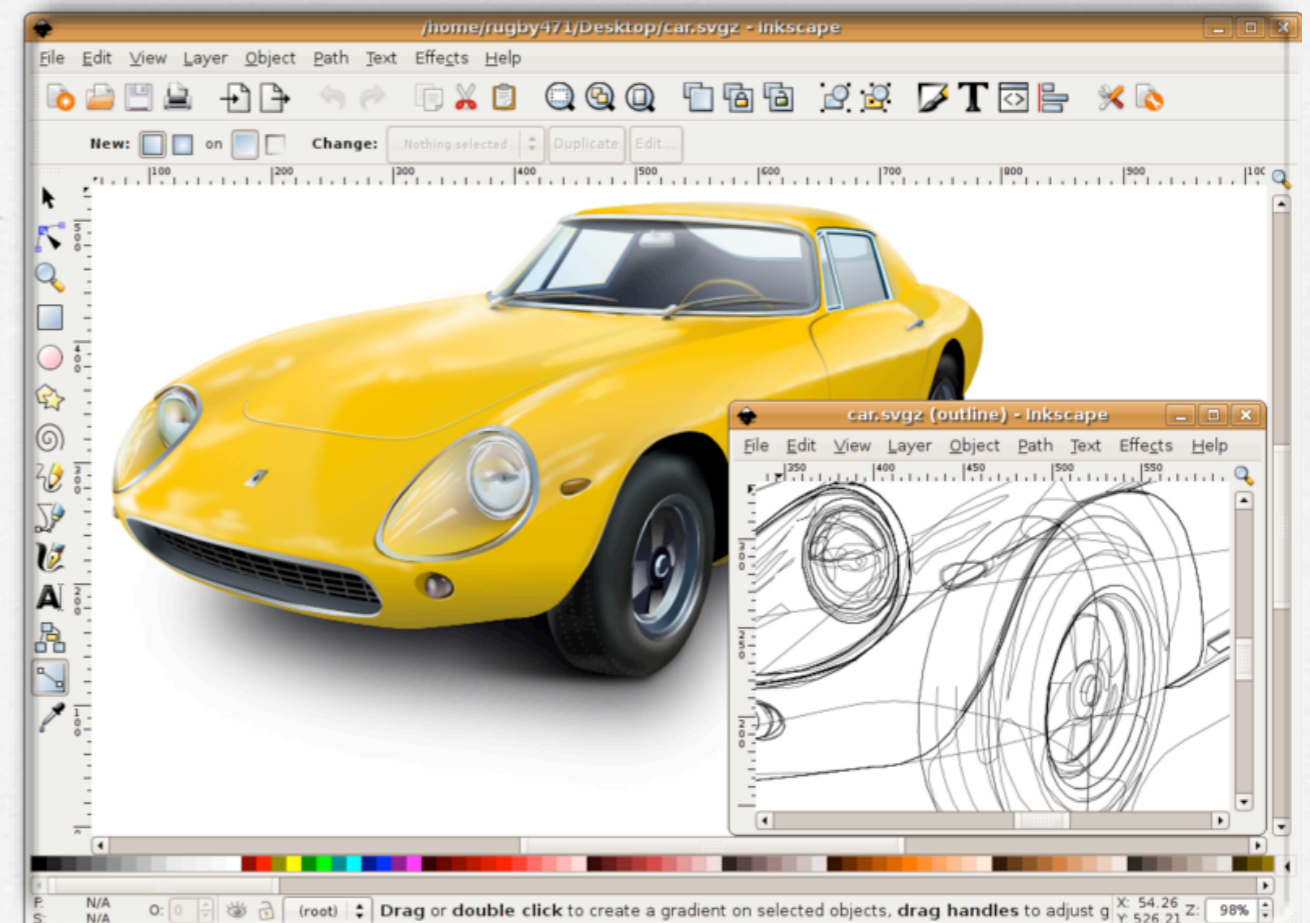
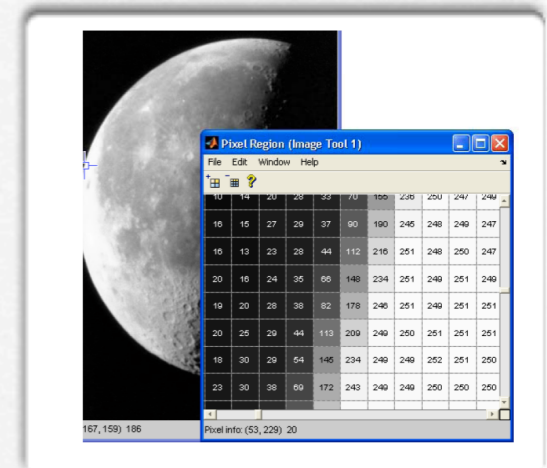
2. IMAGES NUMÉRIQUES

1. Qu'est-ce qu'une image?

- * Une image est avant tout un signal 2D
 - ✓ Représentation d'une scène dans un ordinateur
 - ➔ Exemples : photo, image Rayon-X, échographie, radar, ...
- * Deux types d'images numériques :

Image vectorielle

Image composée d'objets géométriques individuels (segments de droite, polygones, arcs de cercle, etc.) définis chacun par divers attributs de forme, de position, de couleur, etc.



2. IMAGES NUMÉRIQUES

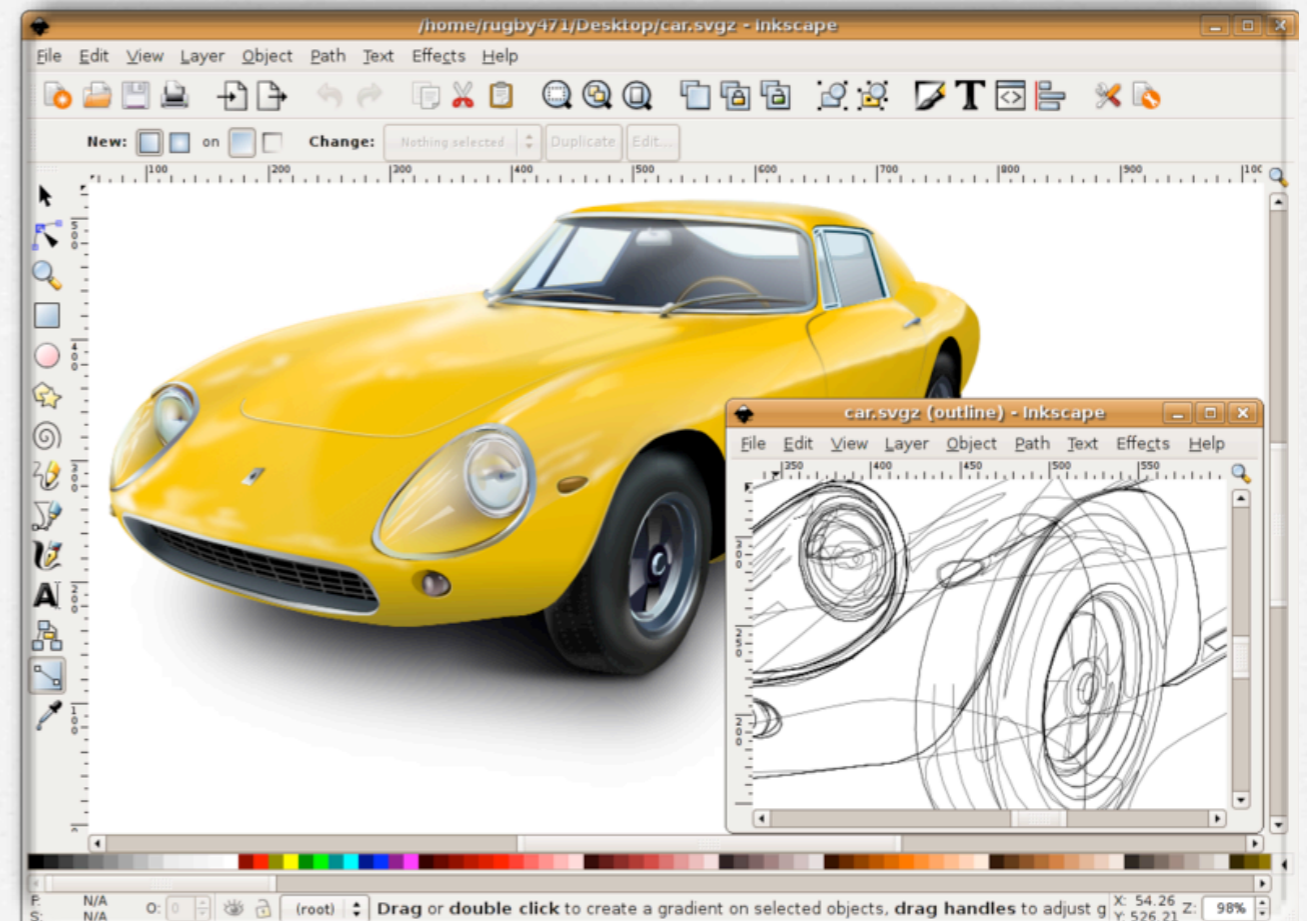
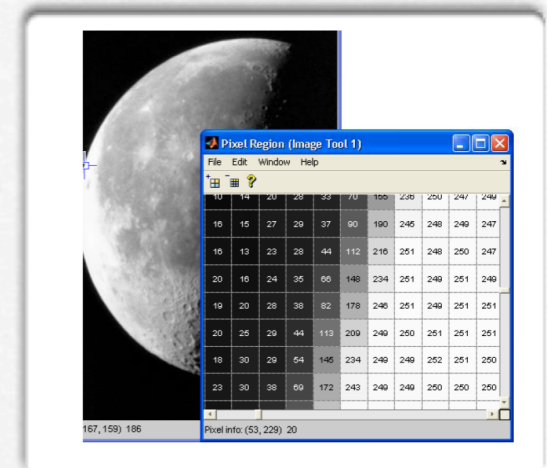
1. Qu'est-ce qu'une image?

- * Une image est avant tout un signal 2D
 - ✓ Représentation d'une scène dans un ordinateur
 - ➔ Exemples : photo, image Rayon-X, échographie, radar, ...
- * Deux types d'images numériques :

Image vectorielle

Image composée d'objets géométriques individuels (segments de droite, polygones, arcs de cercle, etc.) définis chacun par divers attributs de forme, de position, de couleur, etc.

- * Exemples :
 - ✓ Rectangle = 4 sommets + couleur de contour + couleur de remplissage
 - ✓ Lettre = série de sommets + contour noir



2. IMAGES NUMÉRIQUES

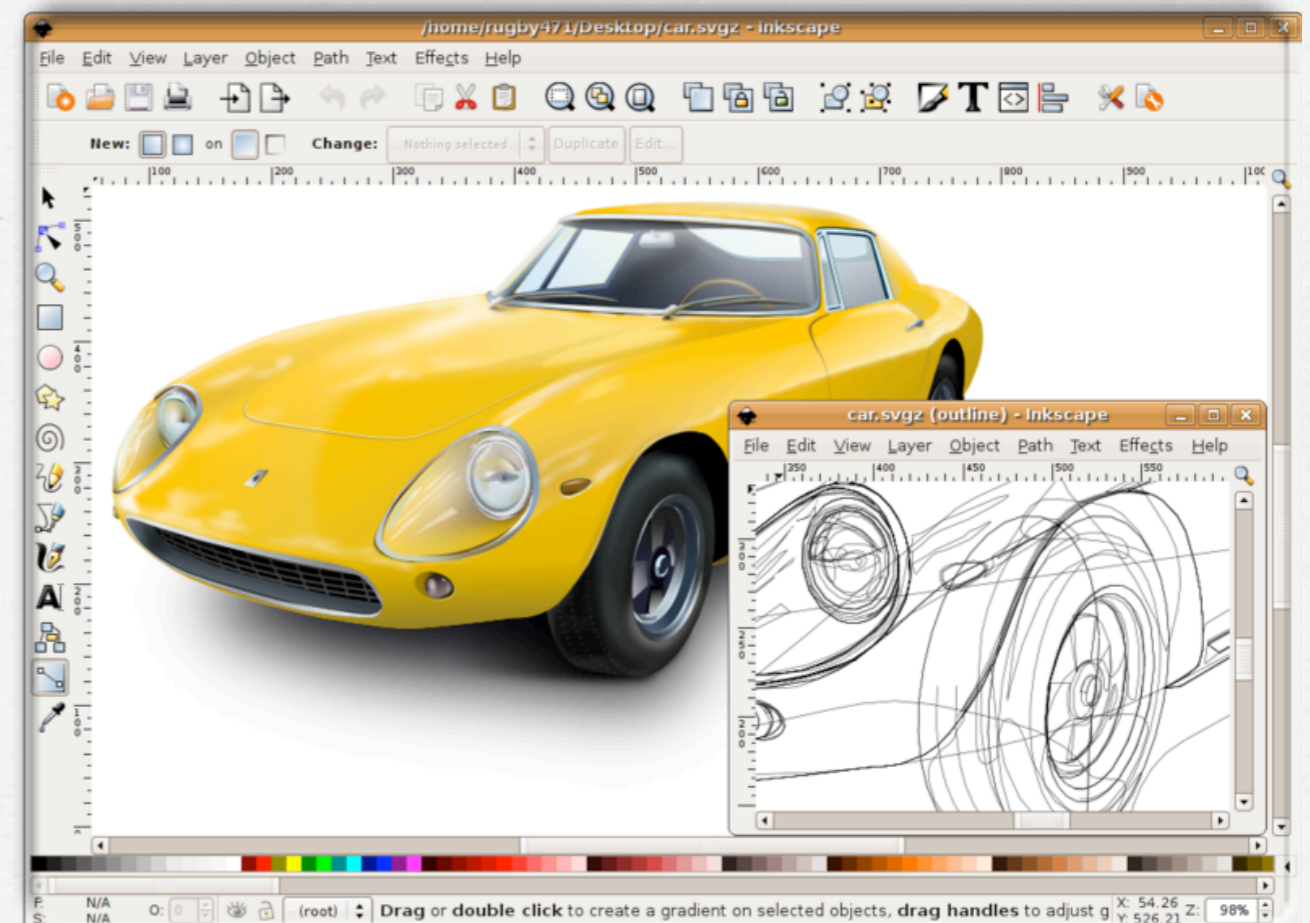
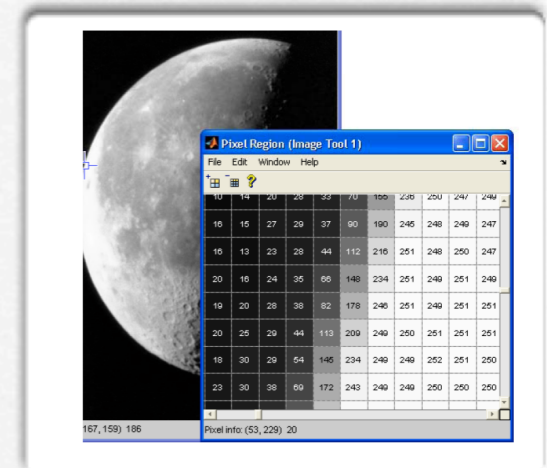
1. Qu'est-ce qu'une image?

- * Une image est avant tout un signal 2D
 - ✓ Représentation d'une scène dans un ordinateur
 - ➔ Exemples : photo, image Rayon-X, échographie, radar, ...
- * Deux types d'images numériques :

Image vectorielle

Image composée d'objets géométriques individuels (segments de droite, polygones, arcs de cercle, etc.) définis chacun par divers attributs de forme, de position, de couleur, etc.

- * *Exemples :*
 - ✓ Rectangle = 4 sommets + couleur de contour + couleur de remplissage
 - ✓ Lettre = série de sommets + contour noir
- * Logiciels : Illustrator, Powerpoint, xfig, ...



2. IMAGES NUMÉRIQUES

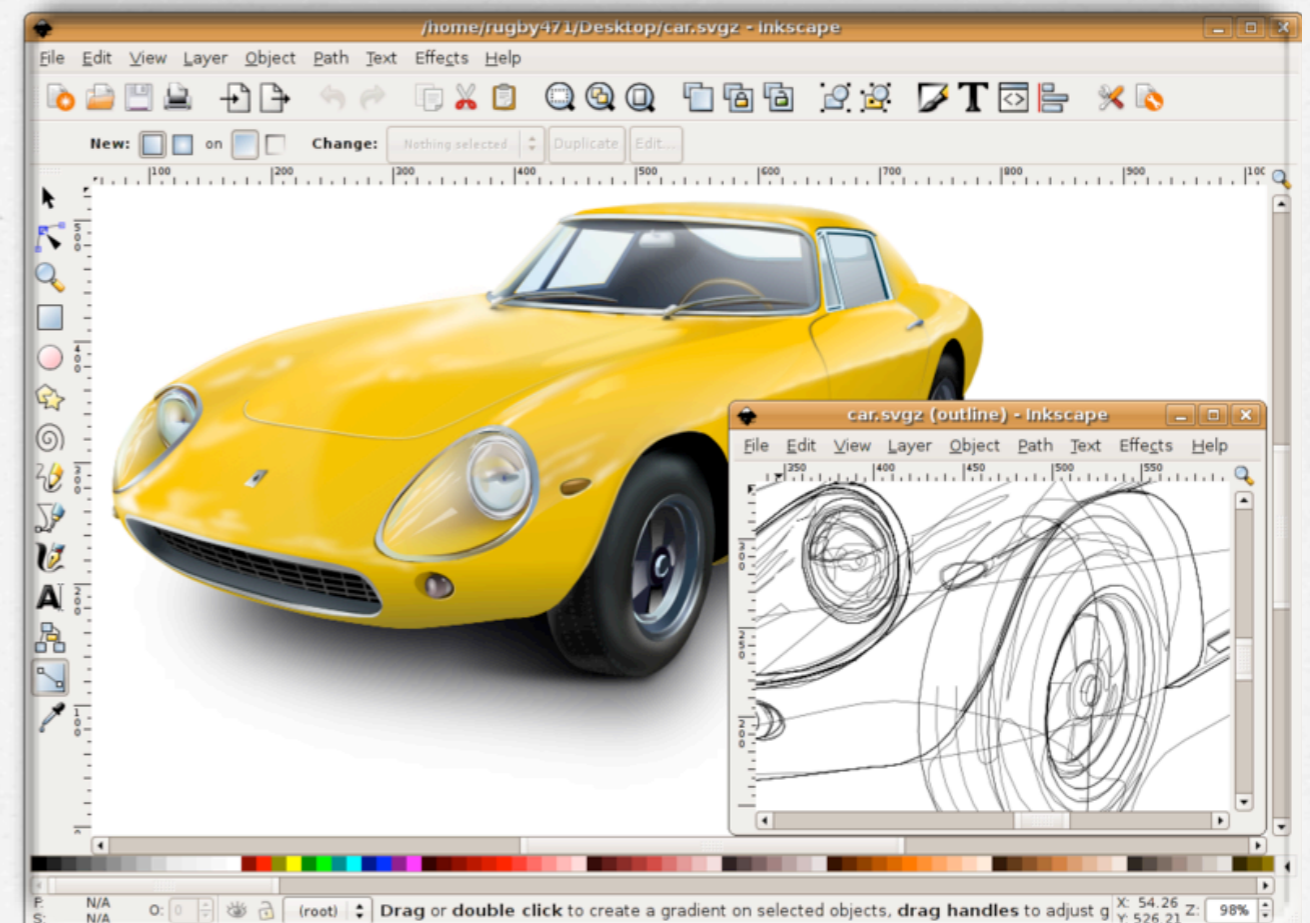
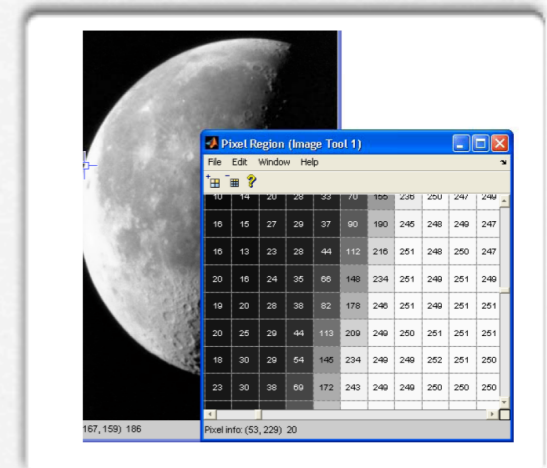
1. Qu'est-ce qu'une image?

- * Une image est avant tout un signal 2D
 - ✓ Représentation d'une scène dans un ordinateur
 - ➔ Exemples : photo, image Rayon-X, échographie, radar, ...
- * Deux types d'images numériques :

Image vectorielle

Image composée d'objets géométriques individuels (segments de droite, polygones, arcs de cercle, etc.) définis chacun par divers attributs de forme, de position, de couleur, etc.

- * *Exemples :*
 - ✓ Rectangle = 4 sommets + couleur de contour + couleur de remplissage
 - ✓ Lettre = série de sommets + contour noir
- * Logiciels : Illustrator, Powerpoint, xfig, ...
- * Formats : postscript, eps, svg, ...



2. IMAGES NUMÉRIQUES

1. Qu'est-ce qu'une image?

- * Une image est avant tout un signal 2D
 - ✓ Représentation d'une scène dans un ordinateur
 - ➔ Exemples : photo, image Rayon-X, échographie, radar, ...
- * Deux types d'images numériques :

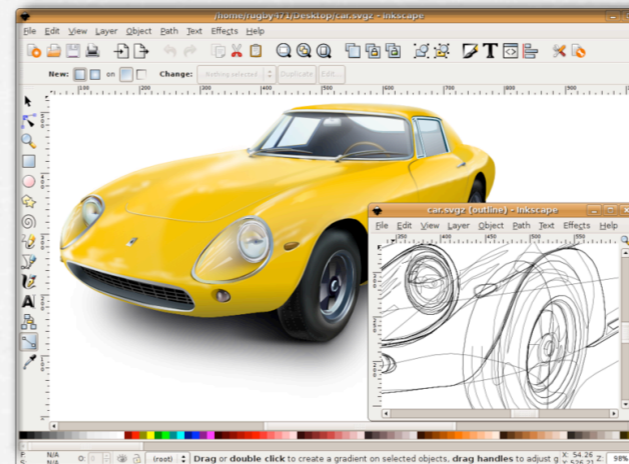
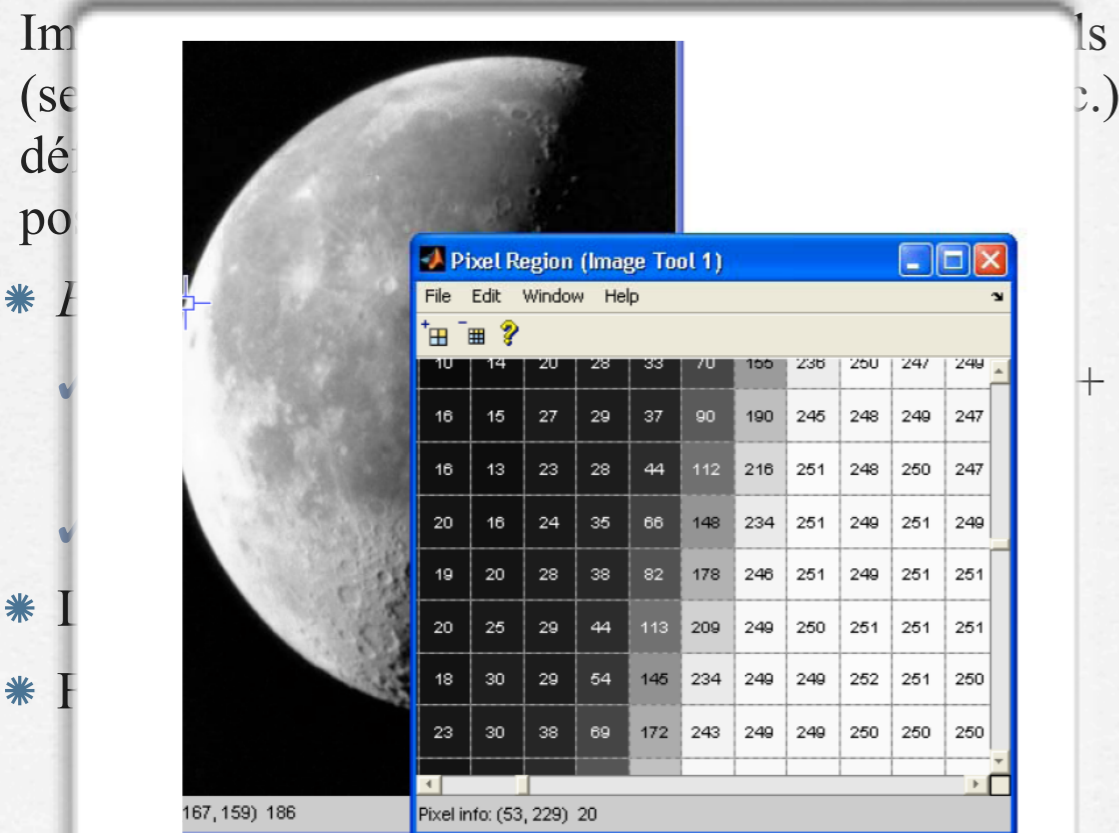


Image vectorielle



Images matricielle

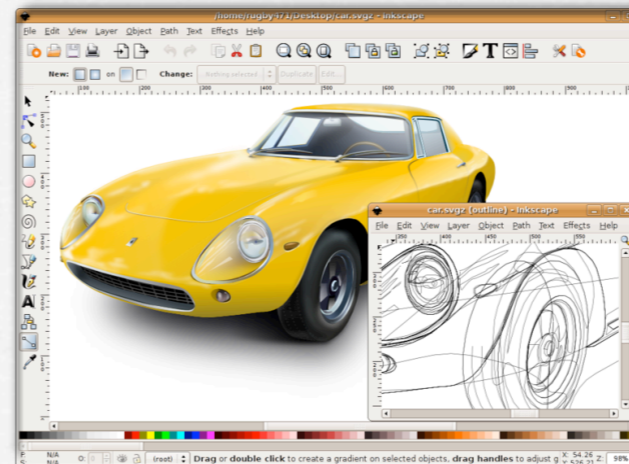
Image constituée d'une matrice ou tableau 2D de points colorés, des pixels (picture elements)

2. IMAGES NUMÉRIQUES

1. Qu'est-ce qu'une image?

- * Une image est avant tout un signal 2D
 - ✓ Représentation d'une scène dans un ordinateur
 - ➔ Exemples : photo, image Rayon-X, échographie, radar, ...
- * Deux types d'images numériques :

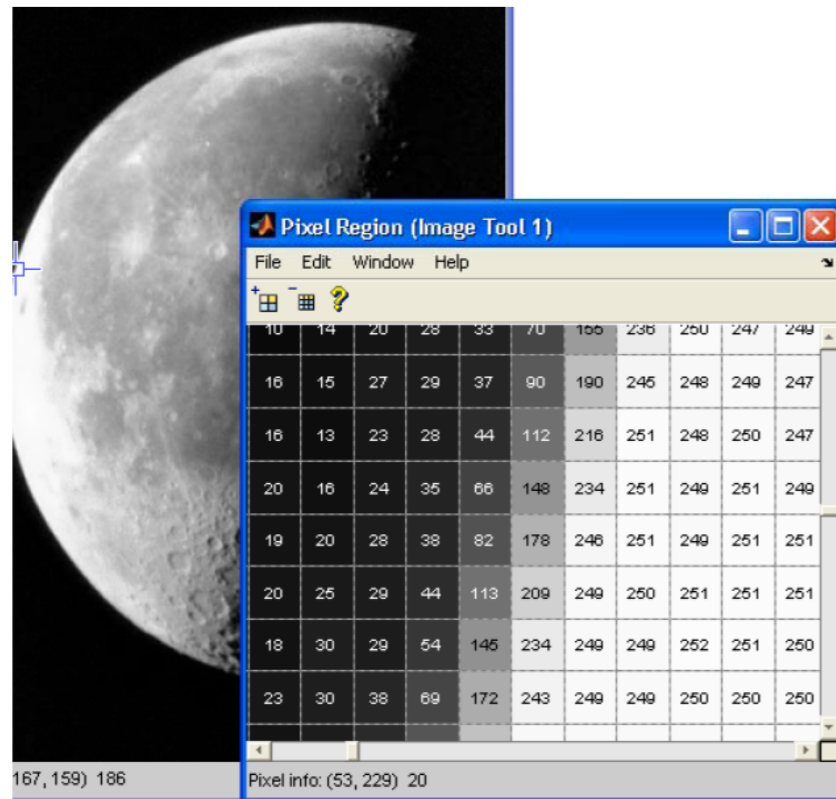
Image vectorielle



Images matricielle

Image constituée d'une matrice ou tableau 2D de points colorés, des pixels (picture elements)

- * Logiciels : Photoshop, gimp, xview, ...



2. IMAGES NUMÉRIQUES

1. Qu'est-ce qu'une image?

- * Une image est avant tout un signal 2D
 - ✓ Représentation d'une scène dans un ordinateur
 - ➔ Exemples : photo, image Rayon-X, échographie, radar, ...
- * Deux types d'images numériques :

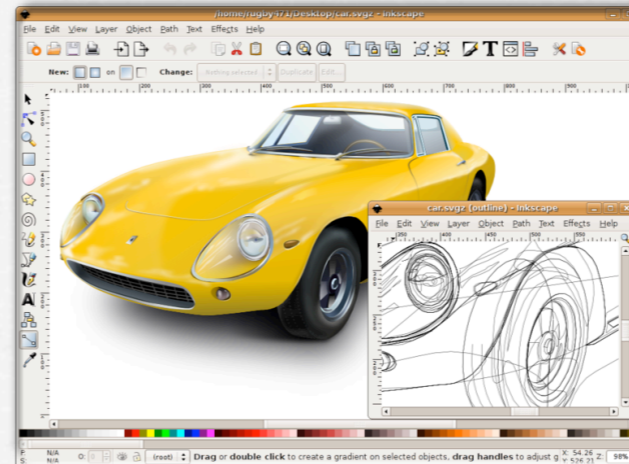
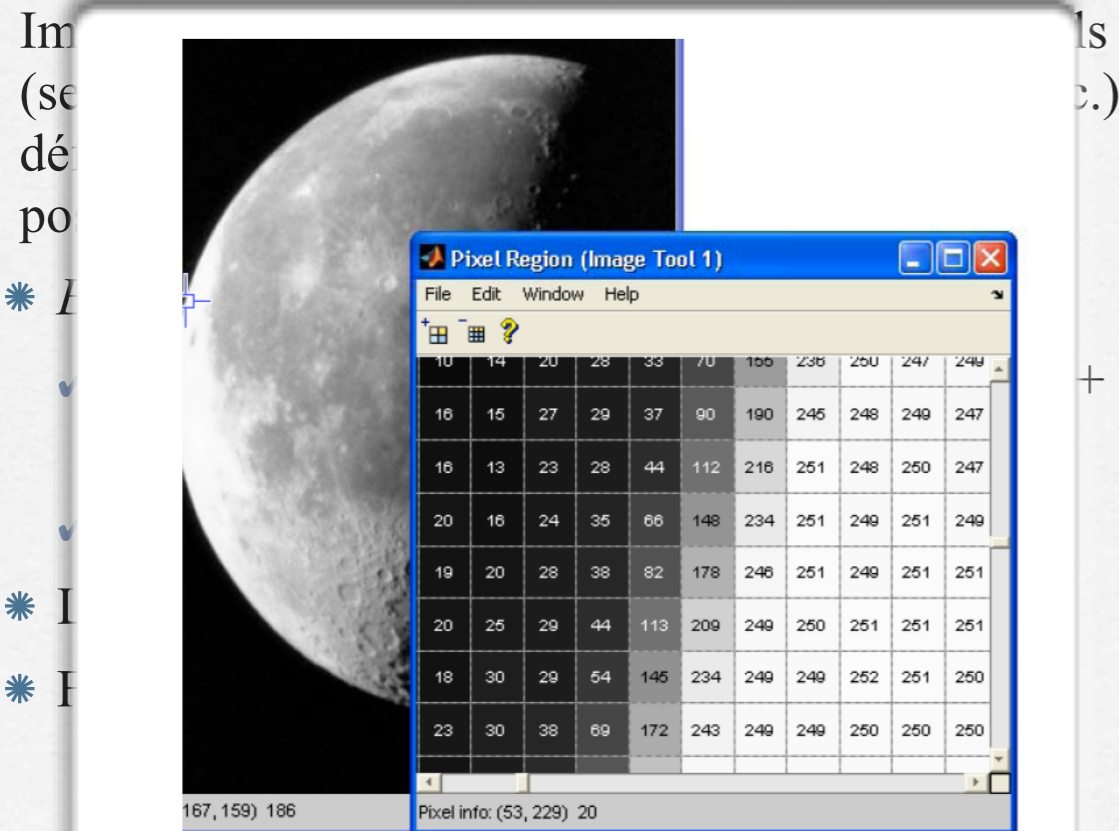


Image vectorielle



Images matricielle

Image constituée d'une matrice ou tableau 2D de points colorés, des pixels (picture elements)

- * Logiciels : Photoshop, gimp, xview, ...
- * Formats : bmp, pgm, ppm, gif, ...

2. IMAGES NUMÉRIQUES

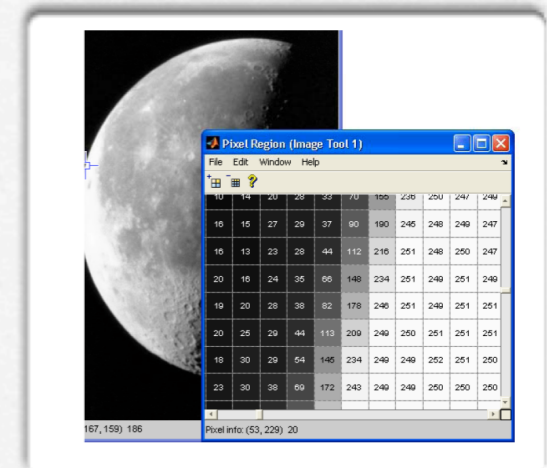
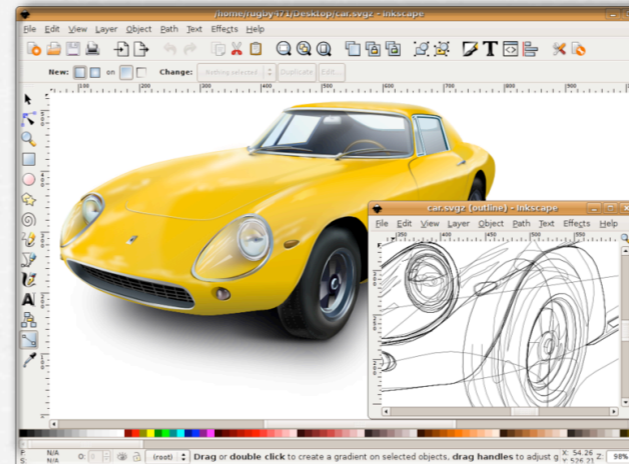
1. Qu'est-ce qu'une image?

- * Une image est avant tout un signal 2D
 - ✓ Représentation d'une scène dans un ordinateur
 - ➔ Exemples : photo, image Rayon-X, échographie, radar, ...
- * Deux types d'images numériques :

Image vectorielle

Image composée d'objets géométriques individuels (segments de droite, polygones, arcs de cercle, etc.) définis chacun par divers attributs de forme, de position, de couleur, etc.

- * *Exemples :*
 - ✓ Rectangle = 4 sommets + couleur de contour + couleur de remplissage
 - ✓ Lettre = série de sommets + contour noir
- * Logiciels : Illustrator, Powerpoint, xfig, ...
- * Formats : postscript, eps, svg, ...



Images matricielle

Image constituée d'une matrice ou tableau 2D de points colorés, des pixels (picture elements)

- * Logiciels : Photoshop, gimp, xview, ...
- * Formats : bmp, pgm, ppm, gif, ...

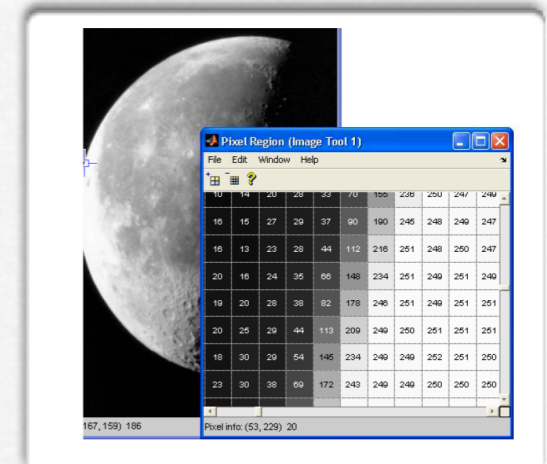
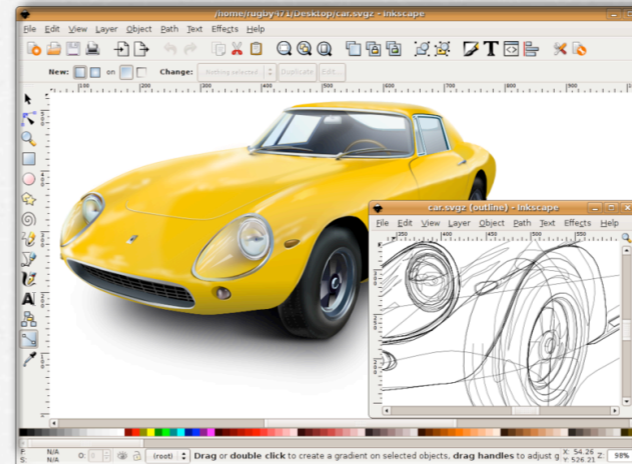
2. IMAGES NUMÉRIQUES

1. Qu'est-ce qu'une image?

- * Une image est avant tout un signal 2D
 - ✓ Représentation d'une scène dans un ordinateur
 - ➔ Exemples : photo, image Rayon-X, échographie, radar, ...
- * Deux types d'images numériques :

Image vectorielle

- * Avantages
 - ✓ Résolution « infinie »
 - ✓ Idéales pour modéliser une scène faite d'objets géométriques simples et d'intensité uniforme
 - ✓ Requiert peu d'espace mémoire



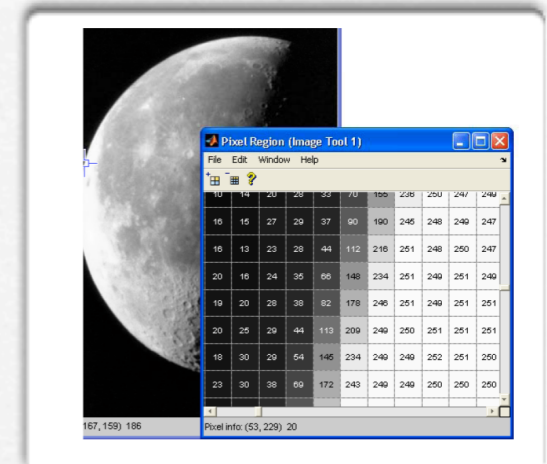
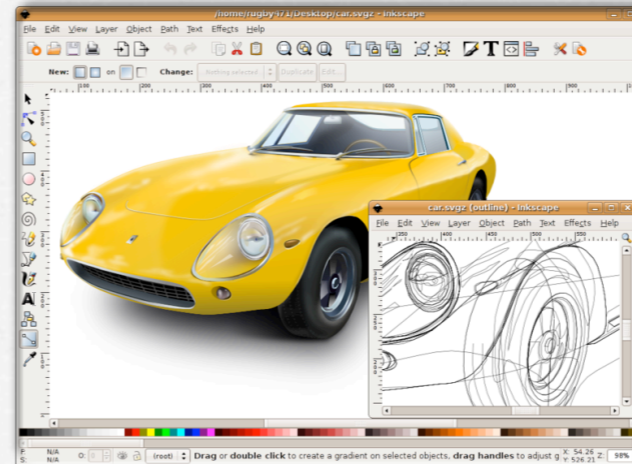
2. IMAGES NUMÉRIQUES

1. Qu'est-ce qu'une image?

- * Une image est avant tout un signal 2D
 - ✓ Représentation d'une scène dans un ordinateur
 - ➔ Exemples : photo, image Rayon-X, échographie, radar, ...
- * Deux types d'images numériques :

Image vectorielle

- * Avantages
 - ✓ Résolution « infinie »
 - ✓ Idéales pour modéliser une scène faite d'objets géométriques simples et d'intensité uniforme
 - ✓ Requiert peu d'espace mémoire
- * Inconvénients
 - ✓ Inappropriées pour les images réelles contenant de nombreux détails fins



2. IMAGES NUMÉRIQUES

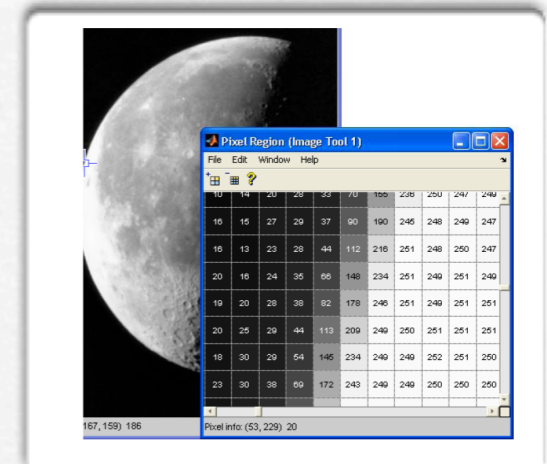
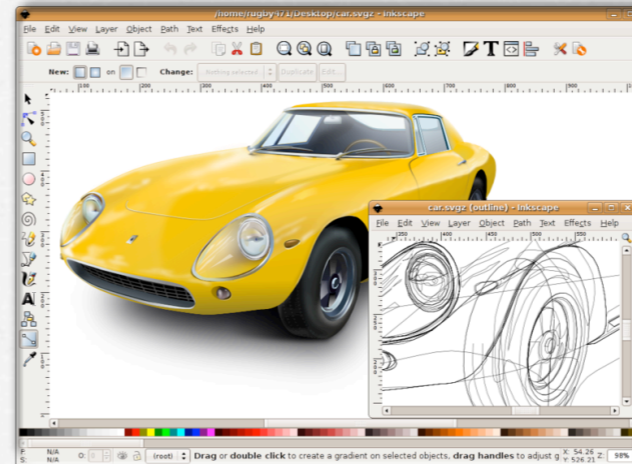
1. Qu'est-ce qu'une image?

- * Une image est avant tout un signal 2D
 - ✓ Représentation d'une scène dans un ordinateur
 - ➔ Exemples : photo, image Rayon-X, échographie, radar, ...
- * Deux types d'images numériques :

Image vectorielle

- * Avantages
 - ✓ Résolution « infinie »
 - ✓ Idéales pour modéliser une scène faite d'objets géométriques simples et d'intensité uniforme
 - ✓ Requiert peu d'espace mémoire
- * Inconvénients
 - ✓ Inappropriées pour les images réelles contenant de nombreux détails fins

Plutôt branche infographie/
synthèse d'image



2. IMAGES NUMÉRIQUES

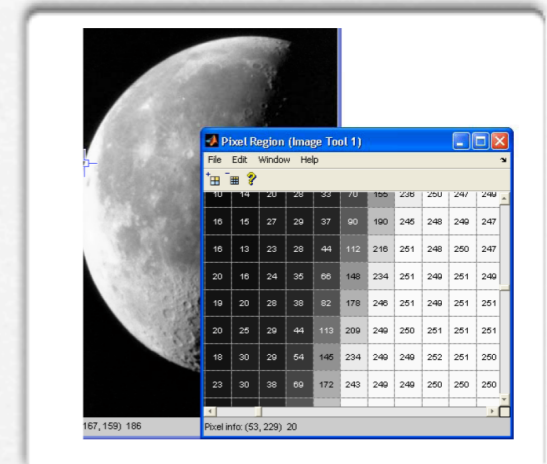
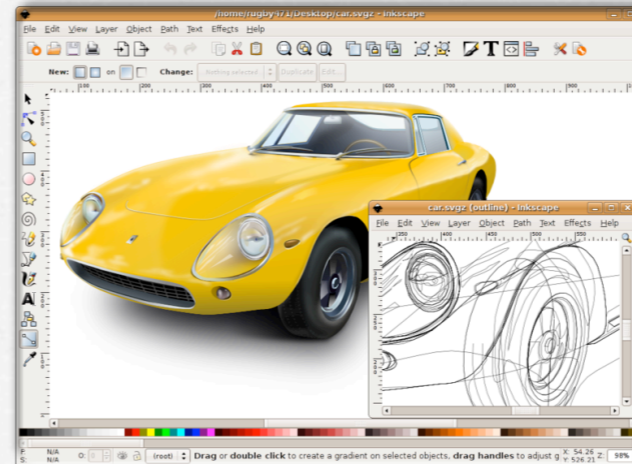
1. Qu'est-ce qu'une image?

- * Une image est avant tout un signal 2D
 - ✓ Représentation d'une scène dans un ordinateur
 - ➔ Exemples : photo, image Rayon-X, échographie, radar, ...
- * Deux types d'images numériques :

Image vectorielle

- * Avantages
 - ✓ Résolution « infinie »
 - ✓ Idéales pour modéliser une scène faite d'objets géométriques simples et d'intensité uniforme
 - ✓ Requiert peu d'espace mémoire
- * Inconvénients
 - ✓ Inappropriées pour les images réelles contenant de nombreux détails fins

Plutôt branche infographie/
synthèse d'image



Images matricielle

- * Avantages
 - ✓ La complexité du contenu influe peu sur la taille de l'image
 - ✓ Complexité arbitraire
 - ✓ Facile à afficher

2. IMAGES NUMÉRIQUES

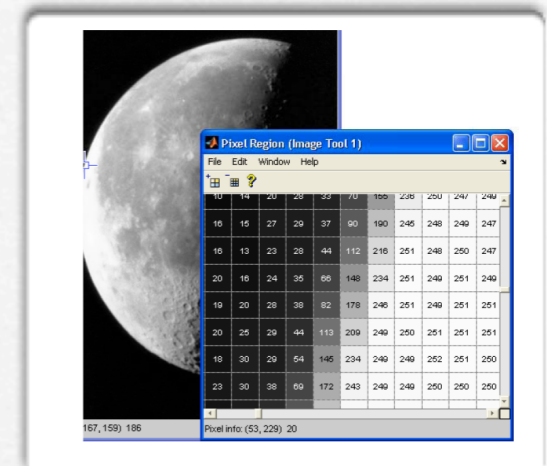
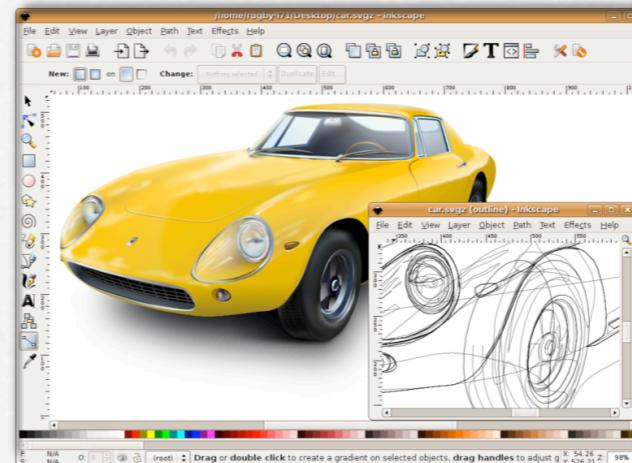
1. Qu'est-ce qu'une image?

- * Une image est avant tout un signal 2D
 - ✓ Représentation d'une scène dans un ordinateur
 - ➔ Exemples : photo, image Rayon-X, échographie, radar, ...
- * Deux types d'images numériques :

Image vectorielle

- * Avantages
 - ✓ Résolution « infinie »
 - ✓ Idéales pour modéliser une scène faite d'objets géométriques simples et d'intensité uniforme
 - ✓ Requiert peu d'espace mémoire
- * Inconvénients
 - ✓ Inappropriées pour les images réelles contenant de nombreux détails fins

Plutôt branche infographie/
synthèse d'image



Images matricielle

- * Avantages
 - ✓ La complexité du contenu influe peu sur la taille de l'image
 - ✓ Complexité arbitraire
 - ✓ Facile à afficher
- * Inconvénients
 - ✓ Résolution limitée au plus petit élément qu'est le pixel

2. IMAGES NUMÉRIQUES

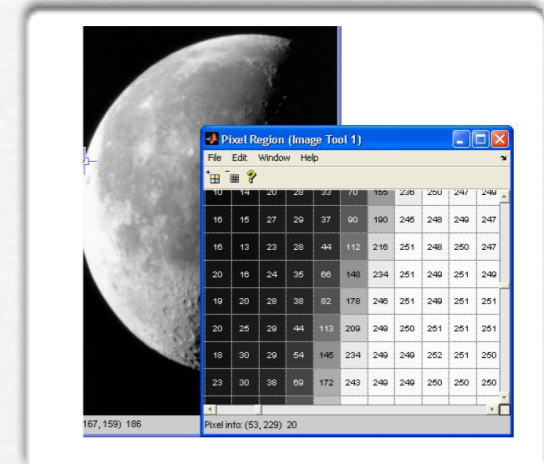
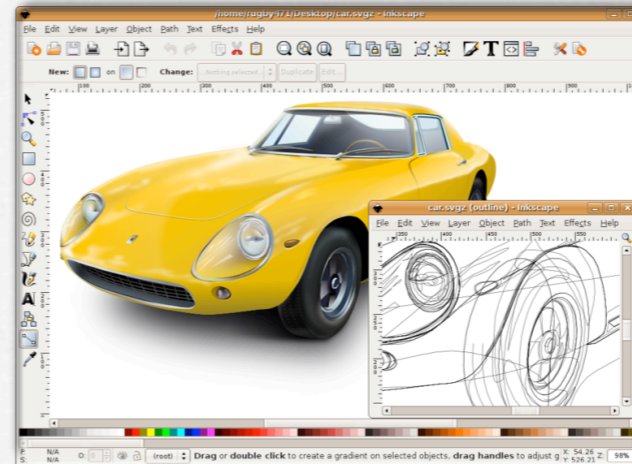
1. Qu'est-ce qu'une image?

- * Une image est avant tout un signal 2D
 - ✓ Représentation d'une scène dans un ordinateur
 - ➔ Exemples : photo, image Rayon-X, échographie, radar, ...
- * Deux types d'images numériques :

Image vectorielle

- * Avantages
 - ✓ Résolution « infinie »
 - ✓ Idéales pour modéliser une scène faite d'objets géométriques simples et d'intensité uniforme
 - ✓ Requiert peu d'espace mémoire
- * Inconvénients
 - ✓ Inappropriées pour les images réelles contenant de nombreux détails fins

Plutôt branche infographie/
synthèse d'image



Images matricielle

- * Avantages
 - ✓ La complexité du contenu influe peu sur la taille de l'image
 - ✓ Complexité arbitraire
 - ✓ Facile à afficher
- * Inconvénients
 - ✓ Résolution limitée au plus petit élément qu'est le pixel
 - ✓ Plus une image est grosse, plus elle requiert de mémoire

2. IMAGES NUMÉRIQUES

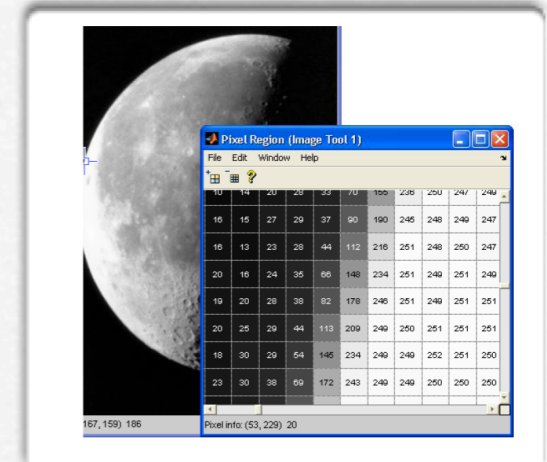
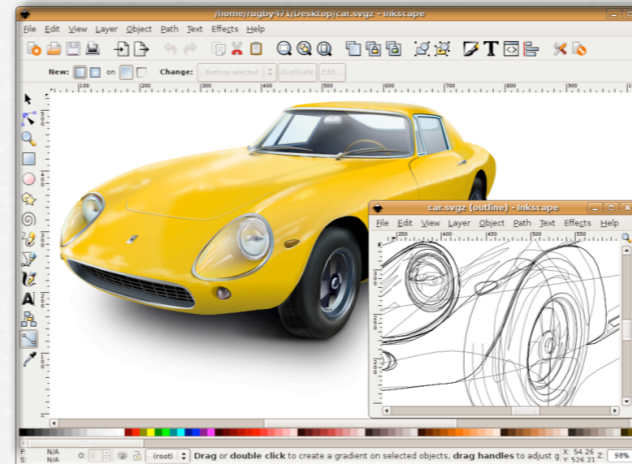
1. Qu'est-ce qu'une image?

- * Une image est avant tout un signal 2D
 - ✓ Représentation d'une scène dans un ordinateur
 - ➔ Exemples : photo, image Rayon-X, échographie, radar, ...
- * Deux types d'images numériques :

Image vectorielle

- * Avantages
 - ✓ Résolution « infinie »
 - ✓ Idéales pour modéliser une scène faite d'objets géométriques simples et d'intensité uniforme
 - ✓ Requiert peu d'espace mémoire
- * Inconvénients
 - ✓ Inappropriées pour les images réelles contenant de nombreux détails fins

Plutôt branche infographie/
synthèse d'image



Images matricielle

- * Avantages
 - ✓ La complexité du contenu influe peu sur la taille de l'image
 - ✓ Complexité arbitraire
 - ✓ Facile à afficher
- * Inconvénients
 - ✓ Résolution limitée au plus petit élément qu'est le pixel
 - ✓ Plus une image est grosse, plus elle requiert de mémoire

Plutôt branche analyse/
vision par ordinateur

2. IMAGES NUMÉRIQUES

1. Qu'est-ce qu'une image?

- * Deux types d'images numériques :



Image vectorielle

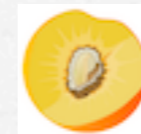
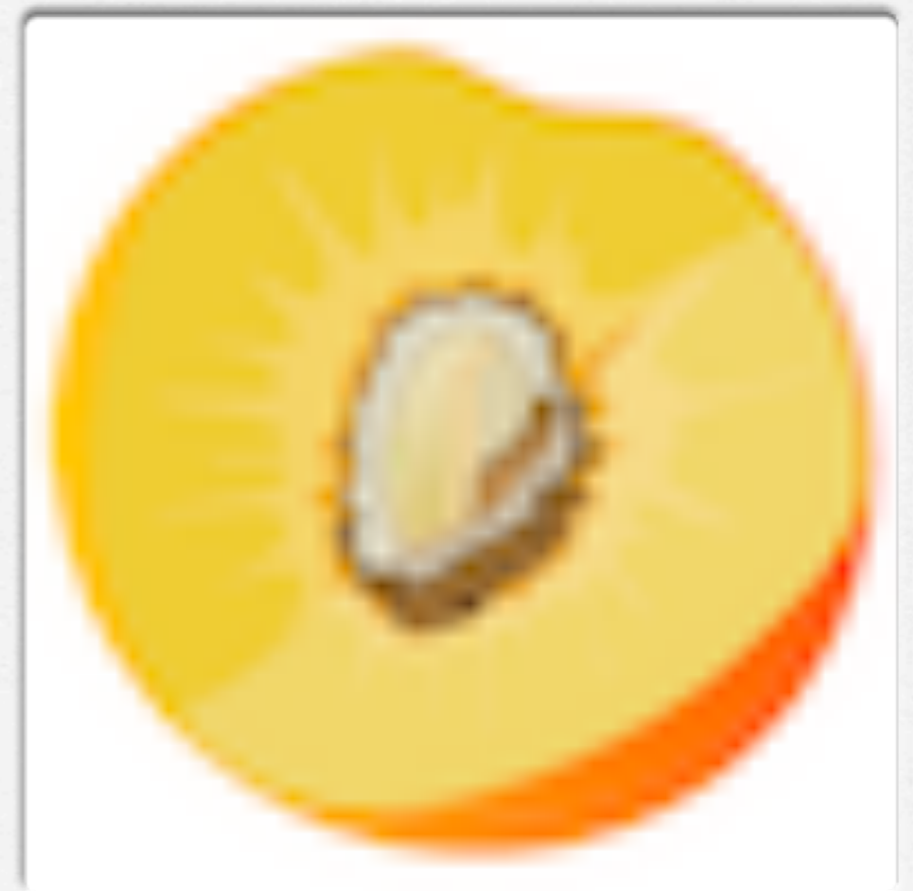


Image matricielle



2. IMAGES NUMÉRIQUES

1. Qu'est-ce qu'une image?

* Informatique :

✓ en mémoire secondaire : fichier

➡ données sur le format

2. IMAGES NUMÉRIQUES

1. Qu'est-ce qu'une image?

* Informatique :

✓ en mémoire secondaire : fichier

➡ données sur le format

➡ nombres complexes, réels, entiers, caractères, vecteurs

2. IMAGES NUMÉRIQUES

1. Qu'est-ce qu'une image?

* Informatique :

- ✓ en mémoire secondaire : fichier

 - ➡ données sur le format

 - ➡ nombres complexes, réels, entiers, caractères, vecteurs

- ✓ en mémoire centrale : tableau à 2 dimensions de nombre complexes, réels, ...

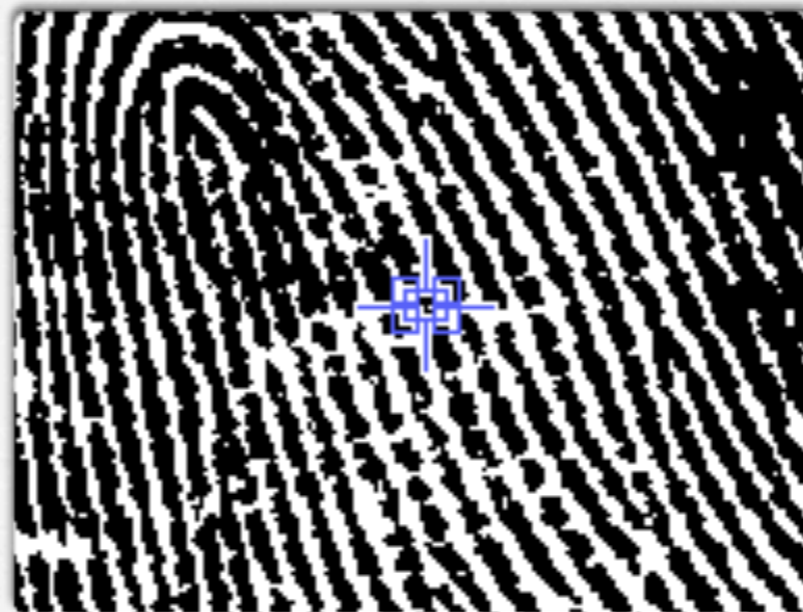
 - ➡ *Exemple :*

```
struct image{  
    short nl, nc; // Nb de lignes, nb de colonnes  
    char *im;     // image  
}
```

2. IMAGES NUMÉRIQUES

2. Images matricielles

* Fonction discrète



2. IMAGES NUMÉRIQUES

2. Images matricielles

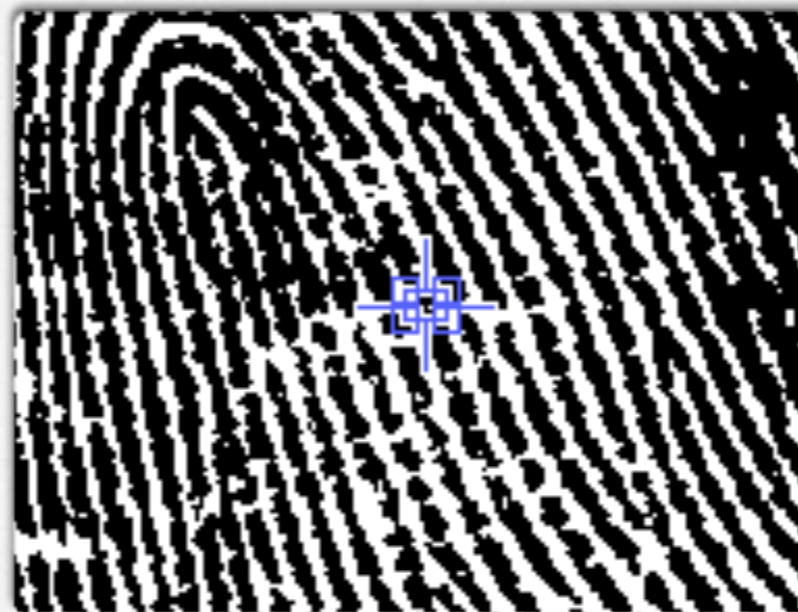
- * Fonction discrète

$$I : \mathbb{N}^2 \mapsto \{0, 1, \dots, n\}^m$$

- * Cas courants

- ✓ Images binaires

- ➔ deux valeurs possibles :
blanc (vrai, présence),
noir (faux, absence)
- ➔ peut se coder sur un seul bit/pixel
pour réduire la mémoire
- ➔ $m = 1, n = 1$



2. IMAGES NUMÉRIQUES

2. Images matricielles

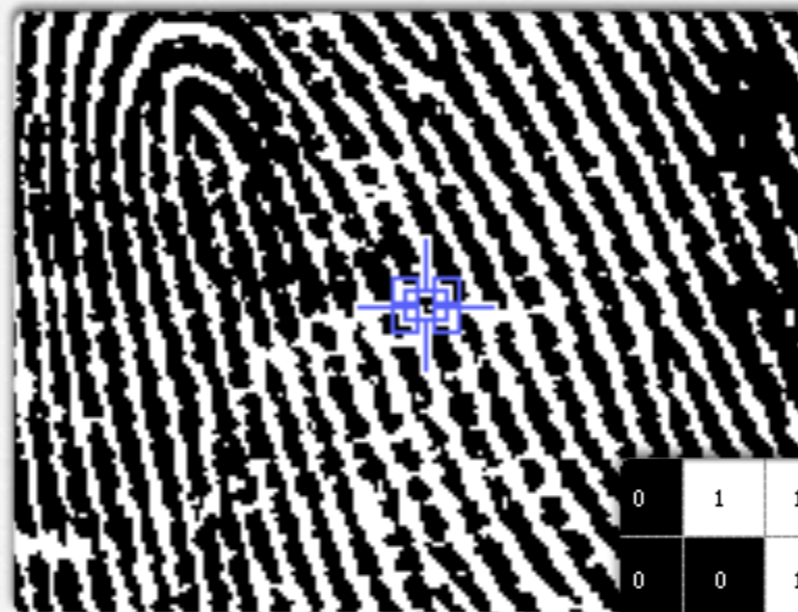
- * Fonction discrète

$$I : \mathbb{N}^2 \mapsto \{0, 1, \dots, n\}^m$$

- * Cas courants

- ✓ Images binaires

- deux valeurs possibles :
blanc (vrai, présence),
noir (faux, absence)
- peut se coder sur un seul bit/pixel
pour réduire la mémoire
- $m = 1, n = 1$



0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0

2. IMAGES NUMÉRIQUES

2. Images matricielles

- * Fonction discrète

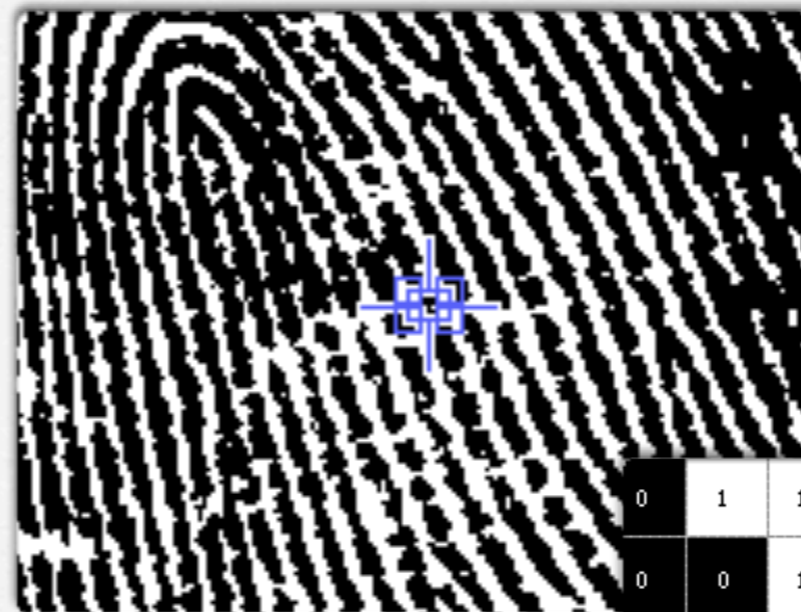
$$I : \mathbb{N}^2 \mapsto \{0, 1, \dots, n\}^m$$

- * Cas courants

- ✓ Images binaires

- deux valeurs possibles :
blanc (vrai, présence),
noir (faux, absence)
- peut se coder sur un seul bit/pixel
pour réduire la mémoire
- $m = 1, n = 1$

Consultez la documentation sur le
binaire IMN117

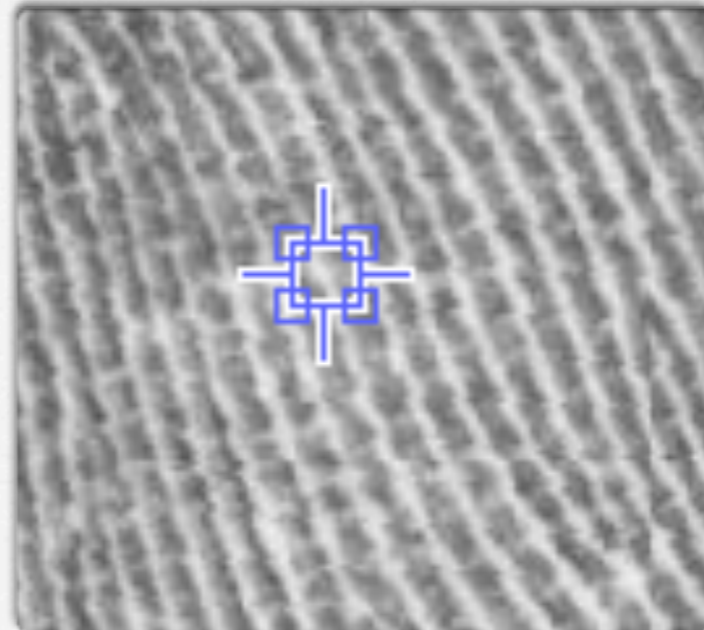


0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0

2. IMAGES NUMÉRIQUES

2. Images matricielles

* Fonction discrète



2. IMAGES NUMÉRIQUES

2. Images matricielles

- * Fonction discrète

$$I : \mathbb{N}^2 \mapsto \{0, 1, \dots, n\}^m$$

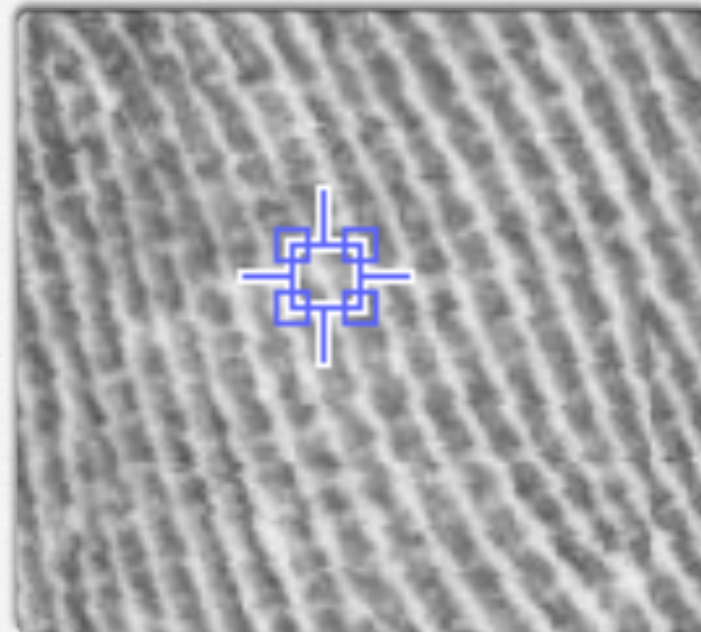
- * Cas courants

- ✓ Images à niveaux de gris

- 8 bits (un* octet/pixel)

- 2^8 intensités possibles

- $m = 1, n = 255$



2. IMAGES NUMÉRIQUES

2. Images matricielles

- * Fonction discrète

$$I : \mathbb{N}^2 \mapsto \{0, 1, \dots, n\}^m$$

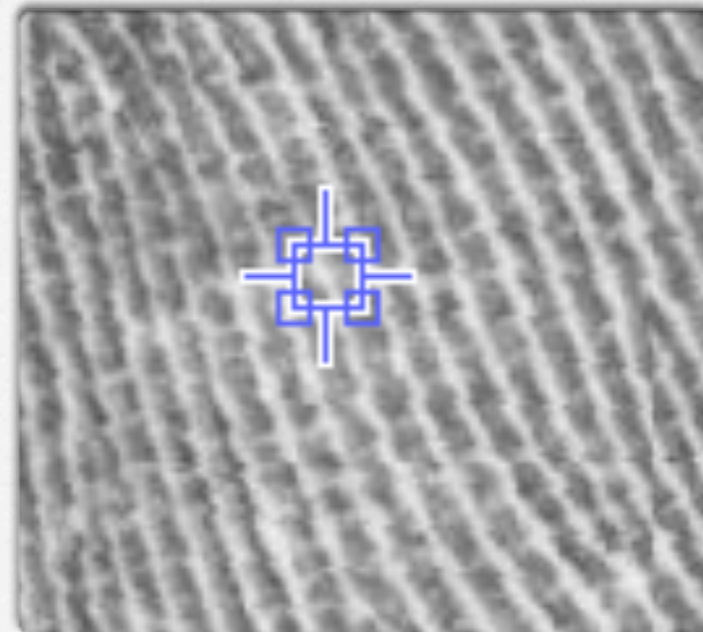
- * Cas courants

- ✓ Images à niveaux de gris

- 8 bits (un* octet/pixel)

- 2^8 intensités possibles

- $m = 1, n = 255$



*Standard. Ça peut être plus.

2. IMAGES NUMÉRIQUES

2. Images matricielles

- * Fonction discrète

$$I : \mathbb{N}^2 \mapsto \{0, 1, \dots, n\}^m$$

- * Cas courants

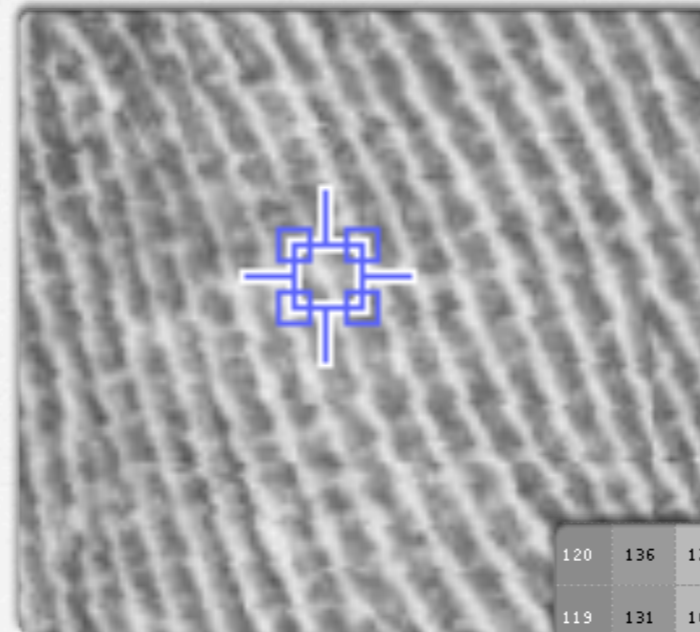
- ✓ Images à niveaux de gris

→ 8 bits (un* octet/pixel)

→ 2^8 intensités possibles

→ $m = 1, n = 255$

*Standard. Ça peut être plus.



120	136	171	192	174	143	117	117	112	104	121	170
119	131	169	200	193	165	144	122	116	123	129	147
143	154	187	212	199	168	160	134	126	137	140	152
170	168	192	219	215	193	171	161	151	145	152	183
173	158	175	211	228	222	193	182	166	151	157	191
161	147	163	200	221	220	213	182	159	153	153	171
124	109	142	179	191	220	211	177	155	166	170	149
125	111	121	144	158	189	204	183	154	145	150	142
141	131	119	123	132	154	203	201	165	123	121	134
148	144	126	120	119	129	197	213	185	134	121	139
148	148	129	121	124	140	194	209	188	148	139	146

2. IMAGES NUMÉRIQUES

2. Images matricielles

- * Fonction discrète



2. IMAGES NUMÉRIQUES

2. Images matricielles

- * Fonction discrète

$$I : \mathbb{N}^2 \mapsto \{0, 1, \dots, n\}^m$$

- * Cas courants

- ✓ Images couleurs

➡ 3 canaux: Rouge-Vert-Bleu



*Standard. Ça peut être plus ou moins.

2. IMAGES NUMÉRIQUES

2. Images matricielles

- * Fonction discrète

$$I : \mathbb{N}^2 \mapsto \{0, 1, \dots, n\}^m$$

- * Cas courants

- ✓ Images couleurs

- ➔ 3 canaux: Rouge-Vert-Bleu
- ➔ 24 bits (trois* octets/pixel)
- ➔ 2^{24} couleurs possibles
- ➔ $m = 3, n = 255$



*Standard. Ça peut être plus ou moins.

2. IMAGES NUMÉRIQUES

2. Images matricielles

* Fonction discrète

$$I : \mathbb{N}^2 \mapsto \{0, 1, \dots, n\}^m$$

* Cas courants

✓ Images couleurs

→ 3 canaux: Rouge-Vert-Bleu

→ 24 bits (trois* octets/pixel)

→ 2^{24} couleurs possibles

→ $m = 3, n = 255$

*Standard. Ça peut être plus ou moins.



R:159 G: 81 B: 18	R:152 G: 75 B: 16	R:146 G: 72 B: 20	R:134 G: 64 B: 20	R:118 G: 58 B: 26	R:108 G: 54 B: 33	R: 97 G: 47 B: 32	R: 90 G: 44 B: 35	R: 80 G: 40 B: 33	R: 70 G: 36 B: 30
R:171 G: 81 B: 17	R:163 G: 75 B: 16	R:158 G: 73 B: 18	R:152 G: 72 B: 21	R:138 G: 64 B: 23	R:127 G: 57 B: 27	R:119 G: 53 B: 30	R:112 G: 51 B: 35	R:102 G: 46 B: 35	R: 92 G: 42 B: 32
R:183 G: 82 B: 24	R:177 G: 75 B: 23	R:174 G: 74 B: 22	R:169 G: 73 B: 22	R:166 G: 73 B: 24	R:159 G: 68 B: 27	R:149 G: 61 B: 28	R:139 G: 56 B: 28	R:128 G: 52 B: 30	R:118 G: 48 B: 32
R:194 G: 72 B: 31	R:188 G: 66 B: 27	R:188 G: 70 B: 31	R:189 G: 73 B: 31	R:187 G: 73 B: 30	R:179 G: 66 B: 29	R:174 G: 62 B: 28	R:167 G: 61 B: 28	R:159 G: 59 B: 30	R:150 G: 56 B: 31
R:196 G: 50 B: 33	R:198 G: 52 B: 35	R:198 G: 54 B: 36	R:198 G: 54 B: 34	R:203 G: 59 B: 39	R:202 G: 60 B: 41	R:198 G: 58 B: 38	R:191 G: 55 B: 36	R:187 G: 55 B: 35	R:180 G: 52 B: 33
R:202 G: 38 B: 41	R:202 G: 37 B: 40	R:201 G: 37 B: 38	R:203 G: 40 B: 40	R:203 G: 41 B: 41	R:201 G: 39 B: 39	R:200 G: 41 B: 40	R:197 G: 43 B: 40	R:198 G: 46 B: 40	R:190 G: 44 B: 38

2. IMAGES NUMÉRIQUES

2. Images matricielles

- * Images couleurs

- ✓ Il y a une perte d'information de régions dans l'image d'intensité lumineuse



Image originale

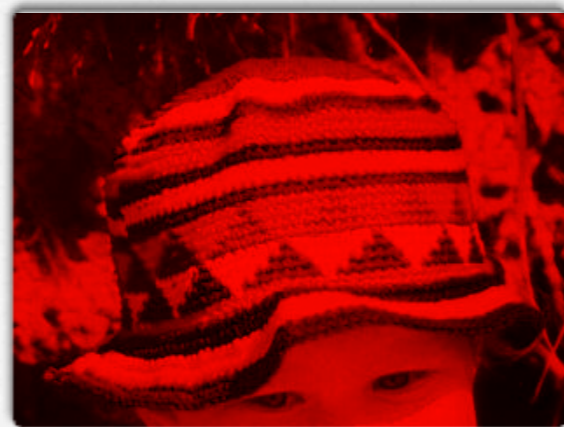
2. IMAGES NUMÉRIQUES

2. Images matricielles

- * Images couleurs
 - ✓ Il y a une perte d'information de régions dans l'image d'intensité lumineuse



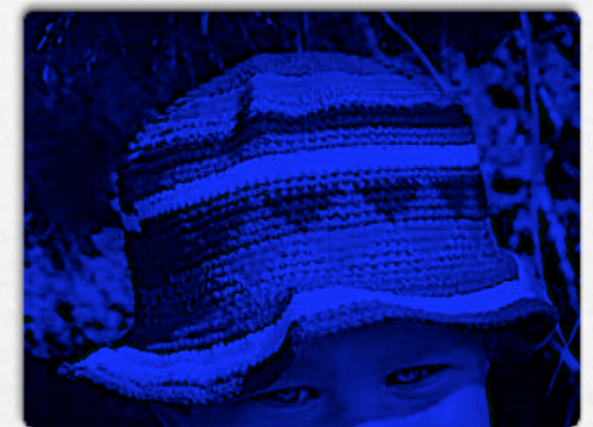
Image originale



Bande rouge



Bande verte



Bande bleue

2. IMAGES NUMÉRIQUES

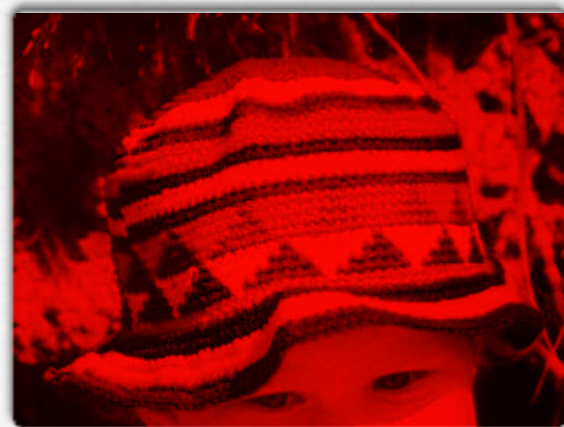
2. Images matricielles

* Images couleurs

✓ Il y a une perte d'information de régions dans l'image d'intensité lumineuse



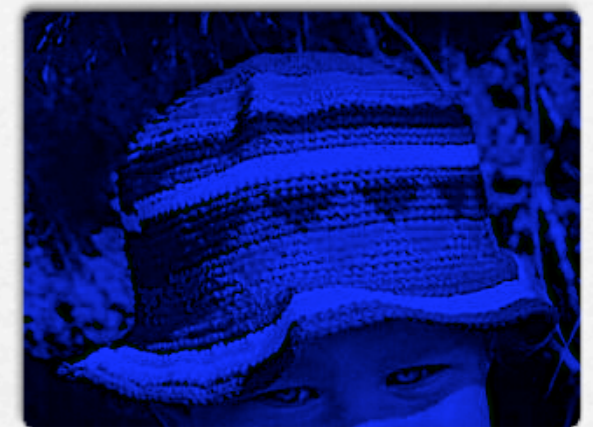
Image originale



Bande rouge



Bande verte



Bande bleue



$$\text{Intensité lumineuse} \approx \frac{(R + G + B)}{3}$$

2. IMAGES NUMÉRIQUES

Démo 01
format

3. Formats

- * PNM (*portable any map*) : Formats simples et non compressés à utiliser dans les travaux du cours
- ✓ PBM : binaire (*portable bit map*)

feep.pbm
355 octets



2. IMAGES NUMÉRIQUES

Démo 01
format

3. Formats

- * PNM (*portable any map*) : Formats simples et non compressés à utiliser dans les travaux du cours
- ✓ PBM : binaire (*portable bit map*)

feep.pbm
355 octets



```
feep.pbm
P1
# feep.pbm
24 7
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0
0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0
0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 0
0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0
0 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

2. IMAGES NUMÉRIQUES

Démo 01
format

3. Formats

- * PNM (*portable any map*) : Formats simples et non compressés à utiliser dans les travaux du cours
- ✓ PBM : binaire (*portable bit map*)

P1 : pbm ascii

P4 : pbm binaire

feep.pbm
355 octets



type de pnm



```
feep.pbm
P1
# feep.pbm
24 7
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0
0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0
0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 0
0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0
0 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

2. IMAGES NUMÉRIQUES

Démo 01
format

3. Formats

- * PNM (*portable any map*) : Formats simples et non compressés à utiliser dans les travaux du cours
- ✓ PBM : binaire (*portable bit map*)

P1 : pbm ascii

P4 : pbm binaire

feep.pbm
355 octets



type de pnm

commentaires

P1

feep.pbm

24 7

```
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0
0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0
0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 0
0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0
0 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

2. IMAGES NUMÉRIQUES

Démo 01
format

3. Formats

- * PNM (*portable any map*) : Formats simples et non compressés à utiliser dans les travaux du cours
- ✓ PBM : binaire (*portable bit map*)

P1 : pbm ascii

P4 : pbm binaire

feep.pbm
355 octets



type de pnm → P1

commentaires → # feep.pbm

nb colonnes,
nb lignes → 24 7

```
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0
0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0
0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 0
0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0
0 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

2. IMAGES NUMÉRIQUES

Démo 01
format

3. Formats

- * PNM (*portable any map*) : Formats simples et non compressés à utiliser dans les travaux du cours
- ✓ PBM : binaire (*portable bit map*)

P1 : pbm ascii

P4 : pbm binaire

feep.pbm
355 octets

F E E P

type de pnm →

commentaires →

nb colonnes,
nb lignes →

tableaux des
valeurs →

```
feep.pbm
P1
# feep.pbm
24 7
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0
0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0
0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 0
0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0
0 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

2. IMAGES NUMÉRIQUES

Démo 01
format

3. Formats

- * PNM (*portable any map*) : Formats simples et non compressés à utiliser dans les travaux du cours
- ✓ PBM : binaire (*portable bit map*)

P1 : pbm ascii

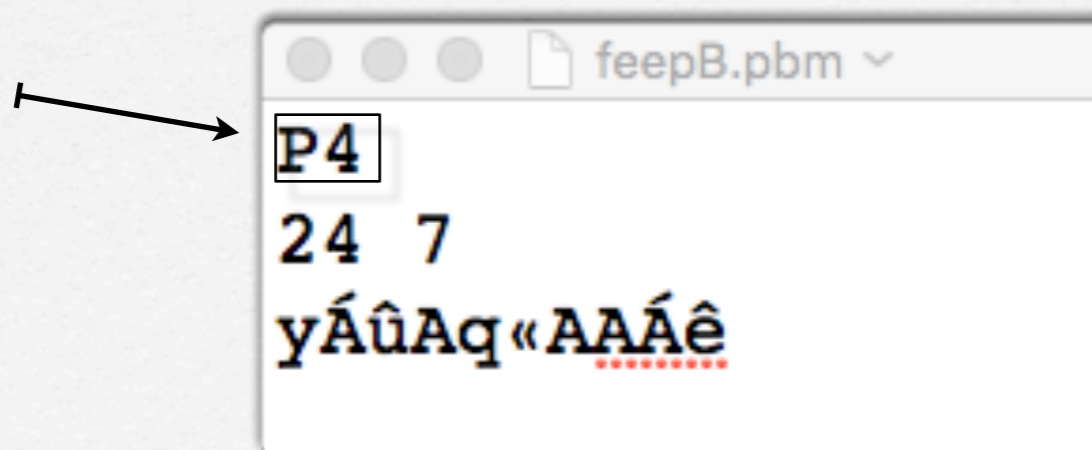
P4 : pbm binaire

feepB.pbm

29 octets



type de pnm



2. IMAGES NUMÉRIQUES

Démo 01
format

3. Formats

- * PNM (*portable any map*) : Formats simples et non compressés à utiliser dans les travaux du cours
- ✓ PBM : binaire (*portable bit map*)

P1 : pbm ascii

P4 : pbm binaire

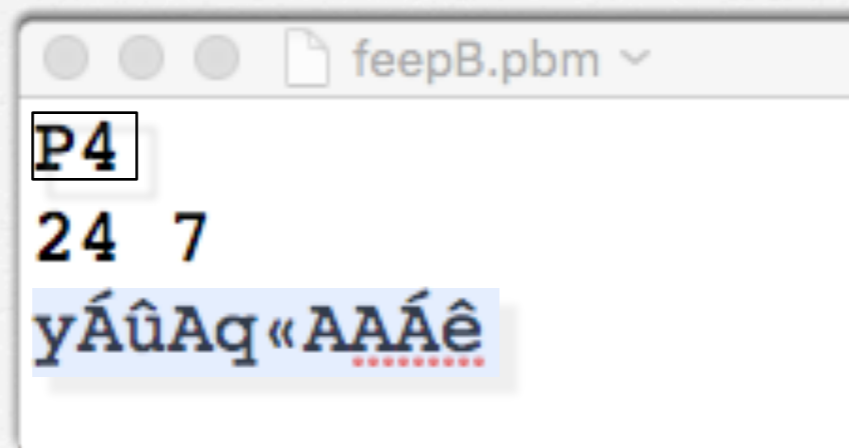
feepB.pbm

29 octets



type de pnm

tableaux des valeurs



2. IMAGES NUMÉRIQUES

Démo 01
format

3. Formats

- * PNM (*portable any map*) : Formats simples et non compressés à utiliser dans les travaux du cours
- ✓ PGM : niveaux de gris (*portable gray map*)

feep.pgm

P2 : pgm ascii

P5 : pgm binaire



tableaux des valeurs →

```
feep - 255.pgm
P2
# feep.pgm
24 7
255
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 51 51 51 51 0 0 119 119 119 119 0 0 187 187 187 187 0 0 255 255
0 51 0 0 0 0 0 119 0 0 0 0 0 187 0 0 0 0 0 255 0
0 51 51 51 0 0 0 119 119 119 0 0 0 187 187 187 0 0 0 255 255
0 51 0 0 0 0 0 119 0 0 0 0 0 187 0 0 0 0 0 255 0
0 51 0 0 0 0 0 119 119 119 119 0 0 187 187 187 187 0 0 255 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

2. IMAGES NUMÉRIQUES

Démo 01
format

3. Formats

- * PNM (*portable any map*) : Formats simples et non compressés à utiliser dans les travaux du cours
- ✓ PGM : niveaux de gris (*portable gray map*)

P2 : pgm ascii
P5 : pgm binaire

feep.pgm



```
feep - 255.pgm
P2
# feep.pgm
24 7
255
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 51 51 51 51 0 0 119 119 119 119 0 0 187 187 187 187 0 0 255 255
0 51 0 0 0 0 0 119 0 0 0 0 0 187 0 0 0 0 0 255 0
0 51 51 51 0 0 0 119 119 119 0 0 0 187 187 187 0 0 0 255 255
0 51 0 0 0 0 0 119 0 0 0 0 0 187 0 0 0 0 0 255 0
0 51 0 0 0 0 0 119 119 119 119 0 0 187 187 187 187 0 0 255 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

Niveau de gris max →

tableaux des valeurs →

2. IMAGES NUMÉRIQUES

Démo 01
format

3. Formats

- * PNM (*portable any map*) : Formats simples et non compressés à utiliser dans les travaux du cours
- ✓ PGM : niveaux de gris (*portable gray map*)

feep.pgm

P2 : pgm ascii

P5 : pgm binaire



tableaux des
valeurs

```
P2
# feep.pgm
24 7
15
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 3 3 3 3 0 0 7 7 7 7 0 0 11 11 11 11 0 0 15 15 15 15 0
0 3 0 0 0 0 0 7 0 0 0 0 0 11 0 0 0 0 0 15 0 0 15 0
0 3 3 3 0 0 0 7 7 7 0 0 0 11 11 11 0 0 0 15 15 15 15 0
0 3 0 0 0 0 0 7 0 0 0 0 0 11 0 0 0 0 0 15 0 0 0 0
0 3 0 0 0 0 0 7 7 7 7 0 0 11 11 11 11 0 0 15 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

2. IMAGES NUMÉRIQUES

Démo 01
format

3. Formats

- * PNM (*portable any map*) : Formats simples et non compressés à utiliser dans les travaux du cours
- ✓ PGM : niveaux de gris (*portable gray map*)

feep.pgm

P2 : pgm ascii

P5 : pgm binaire



feep.pgm																									
P2																									
# feep.pgm																									
24 7																									
15																									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	3	3	3	3	0	0	7	7	7	7	0	0	11	11	11	11	0	0	15	15	15	15	0	0	0
0	3	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	15	0	0	15	0	0	0
0	3	3	3	0	0	0	7	7	7	0	0	0	11	11	11	0	0	0	15	15	15	15	0	0	0
0	3	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0
0	3	0	0	0	0	0	7	7	7	7	0	0	11	11	11	11	0	0	15	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Niveau de gris max

tableaux des
valeurs

2. IMAGES NUMÉRIQUES

Démo 01
format

3. Formats

- * PNM (*portable any map*) : Formats simples et non compressés à utiliser dans les travaux du cours
- ✓ PGM : niveaux de gris (*portable gray map*)

feep.pgm

P2 : pgm ascii

P5 : pgm binaire



```
feep.pgm
P2
# feep.pgm
24 7
15
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 3 3 3 3 0 0 7 7 7 7 0 0 11 11 11 11 0 0 15 15 15 15 0
0 3 0 0 0 0 0 7 0 0 0 0 0 11 0 0 0 0 0 15 0 0 15 0
0 3 3 3 0 0 0 7 7 7 0 0 0 11 11 11 0 0 0 15 15 15 15 0
0 3 0 0 0 0 0 7 0 0 0 0 0 11 0 0 0 0 0 15 0 0 0 0
0 3 0 0 0 0 0 7 7 7 7 0 0 11 11 11 11 0 0 15 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

Niveau de gris max

tableaux des
valeurs

2. IMAGES NUMÉRIQUES

Démo 01
format

3. Formats

- * PNM (*portable any map*) : Formats simples et non compressés à utiliser dans les travaux du cours
- ✓ PPM : couleur (*portable pixel map*)

feep.ppm



P3 : ppm ascii

P6 : ppm binaire

Triple RGB
pixel : colonne 2, rangée 2

dimensions →
valeur max →
tableaux des valeurs →

```
P3
# feep.ppm
4 4
15
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
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
```

Triplet RGB
pixel : colonne 4,
rangée 1

2. IMAGES NUMÉRIQUES

4. Modèles d'images

2. IMAGES NUMÉRIQUES

4. Modèles d'images

- * Il existe différents modèles mathématiques qui ont été employés pour traiter les images

2. IMAGES NUMÉRIQUES

4. Modèles d'images

- * Il existe différents modèles mathématiques qui ont été employés pour traiter les images
- * Les différents modèles donnent lieu à un certain nombre d'outils fondamentaux, qui sont plus ou moins incontournables, que ce soit d'un point de vue pratique ou théorique
 - ✓ *Exemples* : Convolution, transformée de Fourier, histogramme, pyramides, corrélation,

2. IMAGES NUMÉRIQUES

4. Modèles d'images

- * Il existe différents modèles mathématiques qui ont été employés pour traiter les images
- * Les différents modèles donnent lieu à un certain nombre d'outils fondamentaux, qui sont plus ou moins incontournables, que ce soit d'un point de vue pratique ou théorique
 - ✓ *Exemples* : Convolution, transformée de Fourier, histogramme, pyramides, corrélation,
- * Les différents modèles ne sont cependant ni exclusifs ni cloisonnés
 - ✓ Une méthode ou un outils peut provenir de plusieurs de ces modèles

2. IMAGES NUMÉRIQUES

4. Modèles d'images

a) Linéaire

- * Le modèle linéaire est basé sur l'espace *vectoriel*
- ✓ Les opérateurs fondamentaux sont ceux qui préservent la structure d'espace vectoriel, c'est-à-dire les applications linéaires

$$\text{Addition : } f(I + J) = f(I) + f(J)$$

$$\text{Modulation : } f(\lambda I) = \lambda f(I)$$

2. IMAGES NUMÉRIQUES

4. Modèles d'images

a) Linéaire

- * Le modèle linéaire est basé sur l'espace *vectoriel*
- ✓ Les opérateurs fondamentaux sont ceux qui préservent la structure d'espace vectoriel, c'est-à-dire les applications linéaires

$$\text{Addition : } f(I + J) = f(I) + f(J)$$

$$\text{Modulation : } f(\lambda I) = \lambda f(I)$$

La **convolution** :

- Opérateur de base du traitement linéaire des images.
- ✓ Apparue très tôt dans les premiers systèmes d'analyse d'images sous forme empirique et justifiée par des considérations d'implantation, ce n'est que plus tard qu'on a fourni des justifications physiques et fait le lien théorique avec les filtres et le traitement du signal.

2. IMAGES NUMÉRIQUES

4. Modèles d'images

b) Fréquentiel

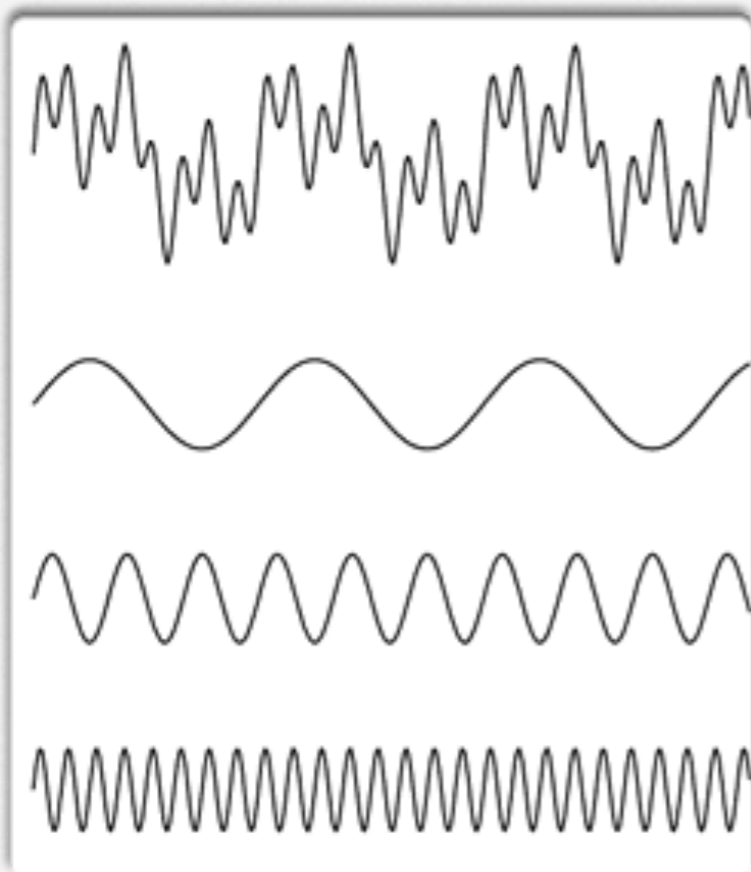
- * Le modèle *fréquentiel* tend à décrire l'image en termes de structures *périodiques*, en la décomposant dans une base de fonctions périodiques simples, comme des sinusoides

2. IMAGES NUMÉRIQUES

4. Modèles d'images

b) Fréquentiel

- * Le modèle *fréquentiel* tend à décrire l'image en termes de structures *périodiques*, en la décomposant dans une base de fonctions périodiques simples, comme des sinusôides

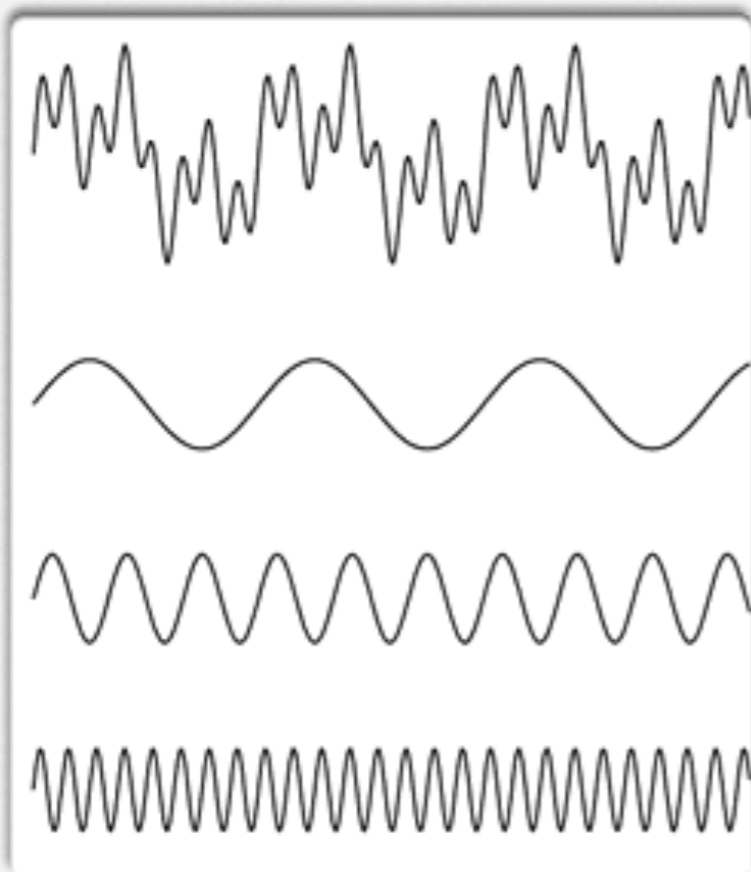


2. IMAGES NUMÉRIQUES

4. Modèles d'images

b) Fréquentiel

- * Le modèle *fréquentiel* tend à décrire l'image en termes de structures *périodiques*, en la décomposant dans une base de fonctions périodiques simples, comme des sinusoides



La transformée de Fourier :

- Outil fondamental d'analyse en traitement du signal
 - ✓ Le pendant 2D de la TF et sa version discrète peut être appliqué avec profit aux images numériques. Si son utilisation en tant qu'outil analytique et algorithmique s'est estompée en traitement d'images au profit d'approches mieux adaptées à la localisation spatiale des fréquences (ondelettes), elle reste un outil théorique et pédagogique important : la formalisation du phénomène du crénelage (repliement de spectre, *aliasing*) et des contraintes d'échantillonnage (Nyquist) en est un exemple.

2. IMAGES NUMÉRIQUES

4. Modèles d'images

c) Statistique

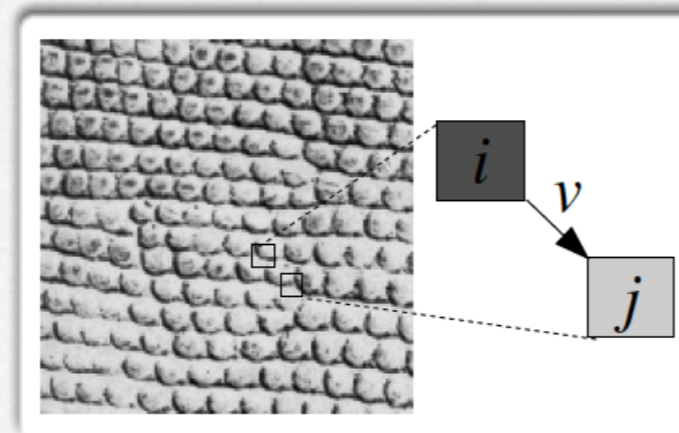
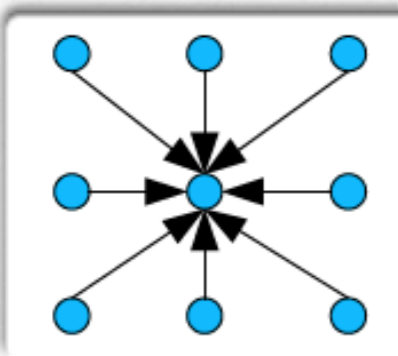
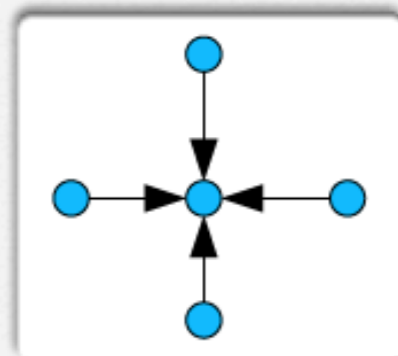
- * On s'intéresse aux propriétés statistiques des images : la distribution des valeurs prises par les pixels, la corrélation existant entre des pixels spatialement proches, la fréquence d'occurrence de certaines structures spatiales...
- * Les mesures statistiques fournissent des grandeurs et fonctions empiriques sur lesquelles peuvent s'appuyer des modèles probabilistes utilisés par les algorithmes d'analyse d'images.

2. IMAGES NUMÉRIQUES

4. Modèles d'images

c) Statistique

- * On s'intéresse aux propriétés statistiques des images : la distribution des valeurs prises par les pixels, la corrélation existant entre des pixels spatialement proches, la fréquence d'occurrence de certaines structures spatiales...
- * Les mesures statistiques fournissent des grandeurs et fonctions empiriques sur lesquelles peuvent s'appuyer des modèles probabilistes utilisés par les algorithmes d'analyse d'images.

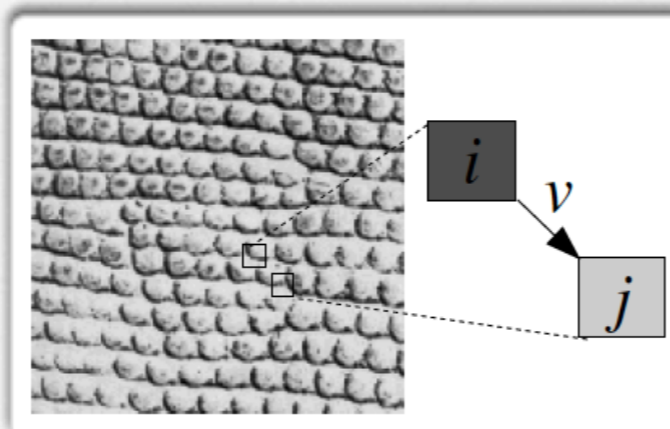
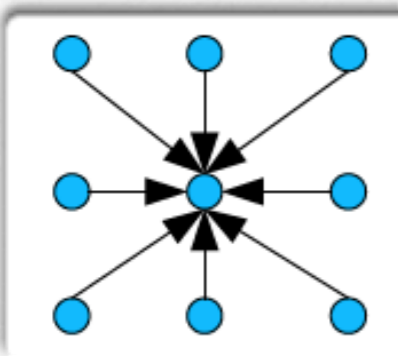
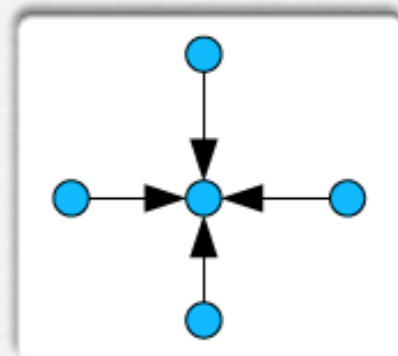


2. IMAGES NUMÉRIQUES

4. Modèles d'images

c) Statistique

- * On s'intéresse aux propriétés statistiques des images : la distribution des valeurs prises par les pixels, la corrélation existant entre des pixels spatialement proches, la fréquence d'occurrence de certaines structures spatiales...
- * Les mesures statistiques fournissent des grandeurs et fonctions empiriques sur lesquelles peuvent s'appuyer des modèles probabilistes utilisés par les algorithmes d'analyse d'images.



L'histogramme :

- Outil de base pour l'étude des capteurs ou de la dynamique d'une scène
- ✓ Il est utilisé par certains opérateurs d'analyse. On retiendra cependant qu'il ne faut pas considérer l'histogramme comme une caractéristique fondamentale de l'image dans la mesure où on peut le transformer radicalement sans changer significativement l'image.

2. IMAGES NUMÉRIQUES

4. Modèles d'images

d) Différentiel

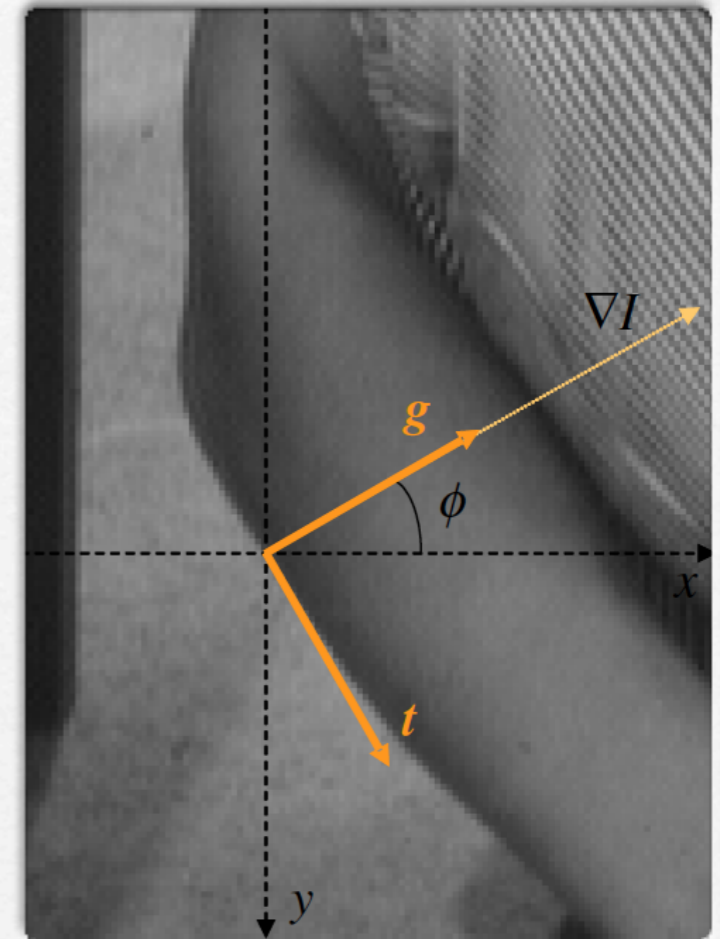
- * On considère l'image comme une fonction *continue* $f(x, y)$, dont on étudie le comportement local à l'aide de ses dérivées
- * Grâce au plongement dans le continu, le modèle différentiel permet d'exprimer un grand nombre d'opérations d'analyse en termes d'*équations aux dérivées partielles* (EDP), ce qui permet de donner un fondement mathématique aux traitements et aussi de fournir des méthodes pour les calculer, par des schémas numériques de résolution

2. IMAGES NUMÉRIQUES

4. Modèles d'images

d) Différentiel

- * On considère l'image comme une fonction *continue* $f(x, y)$, dont on étudie le comportement local à l'aide de ses dérivées
- * Grâce au plongement dans le continu, le modèle différentiel permet d'exprimer un grand nombre d'opérations d'analyse en termes d'*équations aux dérivées partielles* (EDP), ce qui permet de donner un fondement mathématique aux traitements et aussi de fournir des méthodes pour les calculer, par des schémas numériques de résolution



2. IMAGES NUMÉRIQUES

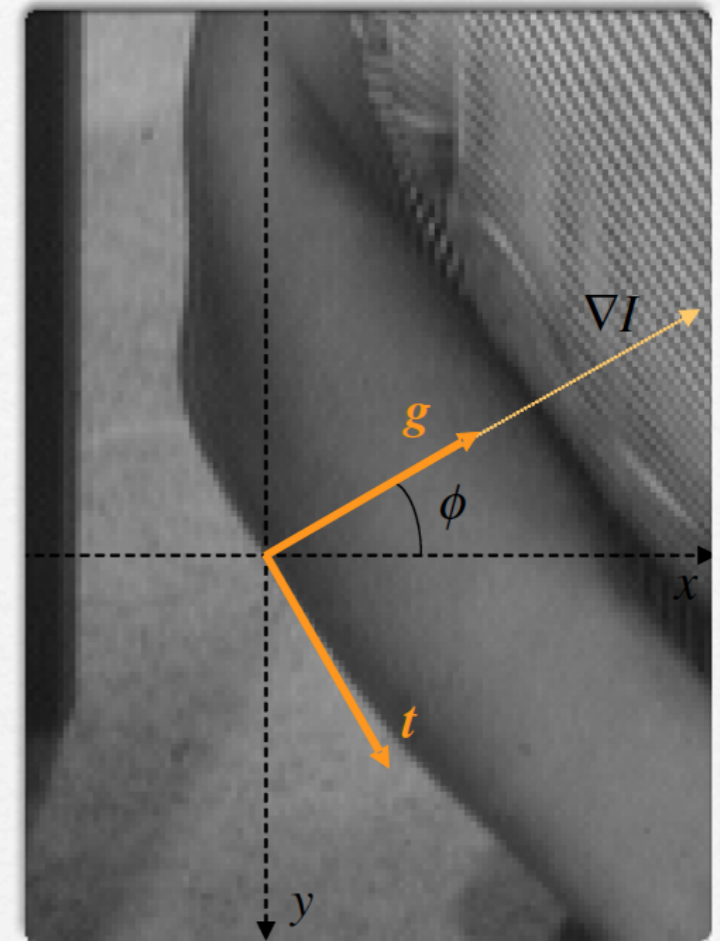
4. Modèles d'images

d) Différentiel

- * On considère l'image comme une fonction *continue* $f(x, y)$, dont on étudie le comportement local à l'aide de ses dérivées
- * Grâce au plongement dans le continu, le modèle différentiel permet d'exprimer un grand nombre d'opérations d'analyse en termes d'*équations aux dérivées partielles* (EDP), ce qui permet de donner un fondement mathématique aux traitements et aussi de fournir des méthodes pour les calculer, par des schémas numériques de résolution

Les dérivées du premier ordre :

- On peut ainsi associer à chaque point (x, y) un repère propre (t, g) , où le vecteur t donne la direction de la ligne de variation minimale et g la direction orthogonale, celle du gradient.



2. IMAGES NUMÉRIQUES

4. Modèles d'images

e) Ensembliste

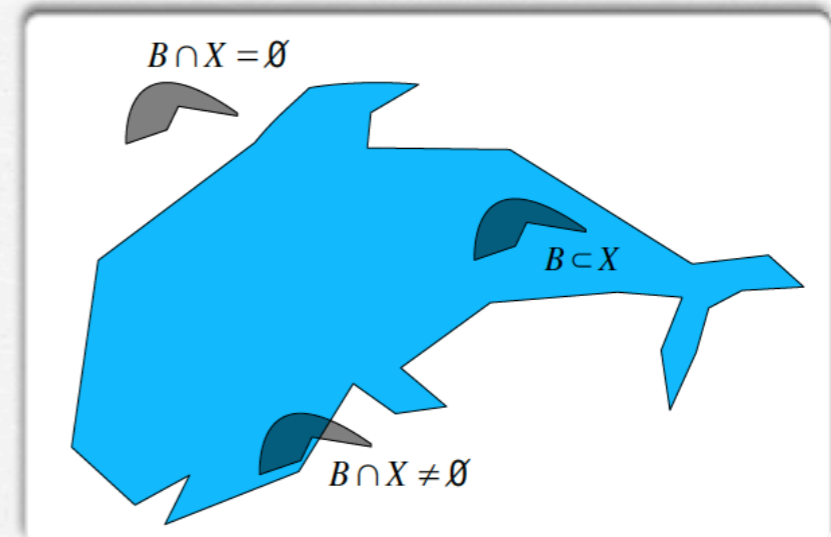
- * En *morphologie mathématique*, l'image est considérée comme un ensemble, dont on étudie les propriétés en fonction de relations locales avec un ensemble de référence (élément structurant) en termes d'intersection et d'inclusion

2. IMAGES NUMÉRIQUES

4. Modèles d'images

e) Ensembliste

- * En *morphologie mathématique*, l'image est considérée comme un ensemble, dont on étudie les propriétés en fonction de relations locales avec un ensemble de référence (élément structurant) en termes d'intersection et d'inclusion



2. IMAGES NUMÉRIQUES

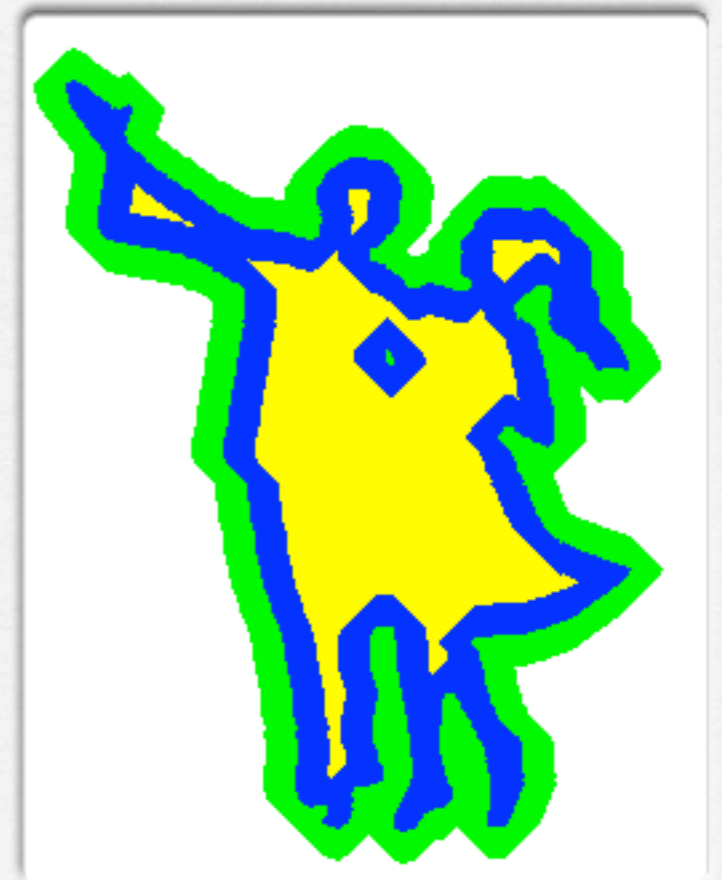
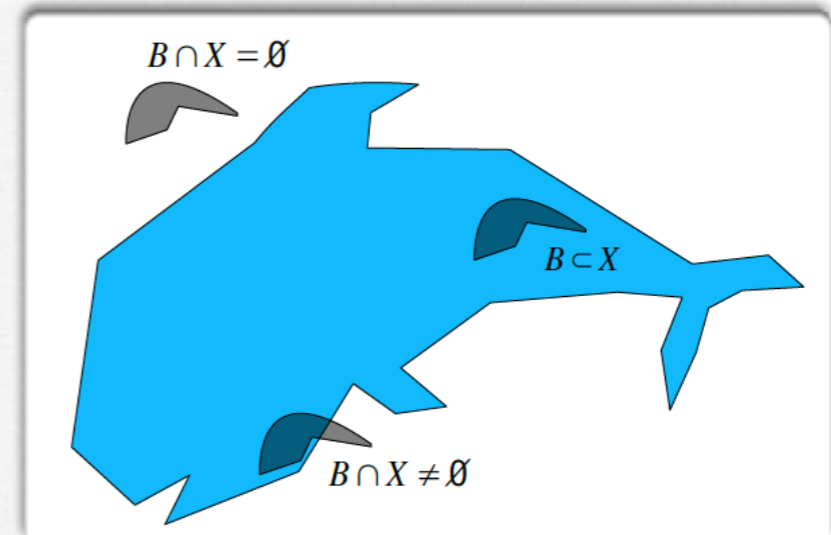
4. Modèles d'images

e) Ensembliste

- * En *morphologie mathématique*, l'image est considérée comme un ensemble, dont on étudie les propriétés en fonction de relations locales avec un ensemble de référence (élément structurant) en termes d'intersection et d'inclusion

La **dilatation** (vert) et l'**érosion** (jaune):

- Opérateurs de base de la morphologie mathématique.
- ✓ Pratiquement tous les autres opérateurs peuvent être définis à l'aide de ceux-ci, en utilisant des compositions de fonctions et des opérations ensemblistes.



2. IMAGES NUMÉRIQUES

4. Modèles d'images

f) Discret

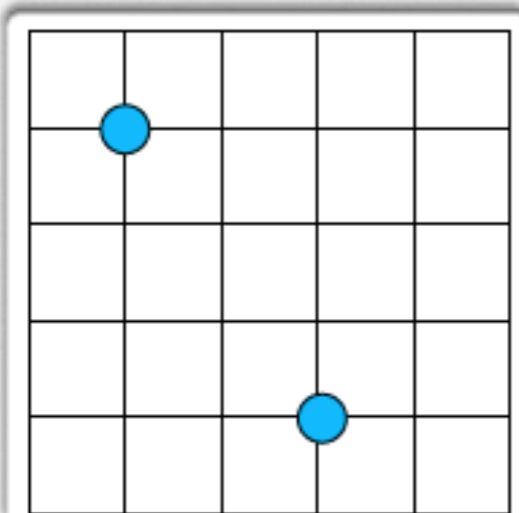
- * La *géométrie discrète* est une discipline aussi ancienne que le traitement d'images.
- * Contrairement au modèle *différentiel* qui considère les structures géométriques (courbes, surfaces, droites, etc) comme des approximations numériques de leurs homologues continues, ou au modèle *fréquentiel* qui traduit la discrétisation en termes de perte d'information, le modèle *discret*, lui, intègre l'espace échantillonné comme cadre mathématique, et s'efforce de donner un cadre formel aux structures géométriques discrètes : définition, propriétés, théorèmes, ...

2. IMAGES NUMÉRIQUES

4. Modèles d'images

f) Discret

- * La *géométrie discrète* est une discipline aussi ancienne que le traitement d'images.
- * Contrairement au modèle *différentiel* qui considère les structures géométriques (courbes, surfaces, droites, etc) comme des approximations numériques de leurs homologues continues, ou au modèle *fréquentiel* qui traduit la discrétisation en termes de perte d'information, le modèle *discret*, lui, intègre l'espace échantillonné comme cadre mathématique, et s'efforce de donner un cadre formel aux structures géométriques discrètes : définition, propriétés, théorèmes, ...



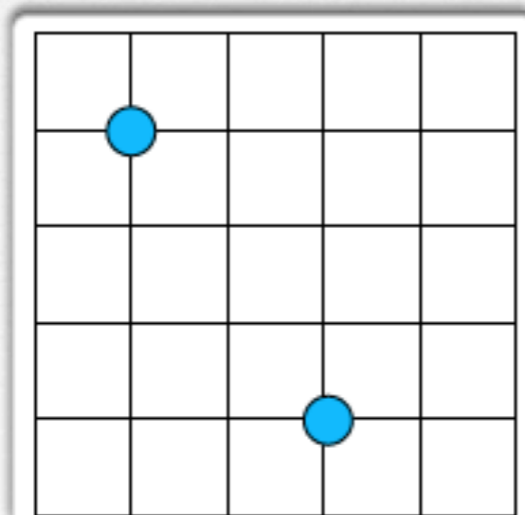
Quelle est la distance?

2. IMAGES NUMÉRIQUES

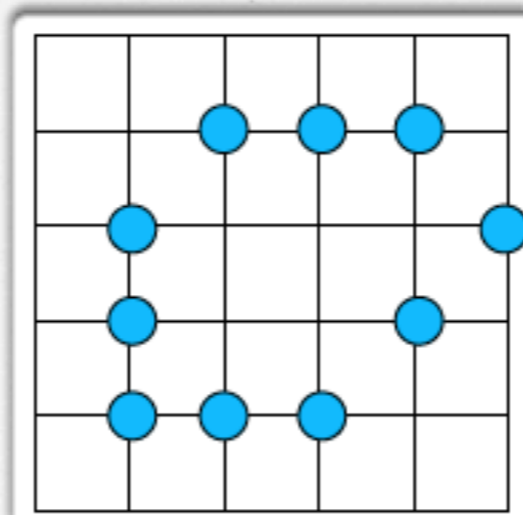
4. Modèles d'images

f) Discret

- * La *géométrie discrète* est une discipline aussi ancienne que le traitement d'images.
- * Contrairement au modèle *différentiel* qui considère les structures géométriques (courbes, surfaces, droites, etc) comme des approximations numériques de leurs homologues continues, ou au modèle *fréquentiel* qui traduit la discrétisation en termes de perte d'information, le modèle *discret*, lui, intègre l'espace échantillonné comme cadre mathématique, et s'efforce de donner un cadre formel aux structures géométriques discrètes : définition, propriétés, théorèmes, ...



Quelle est la distance?



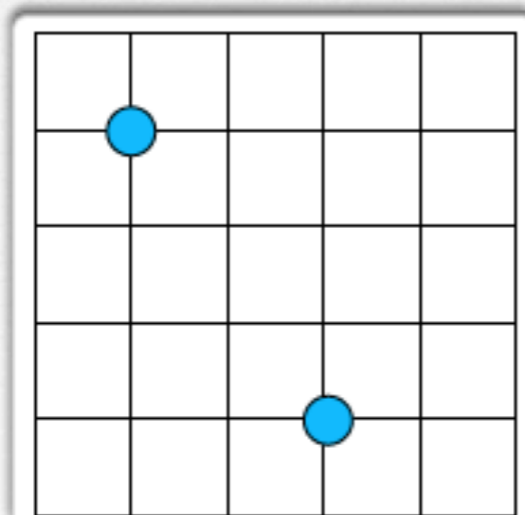
Qu'est-ce qu'un trou?

2. IMAGES NUMÉRIQUES

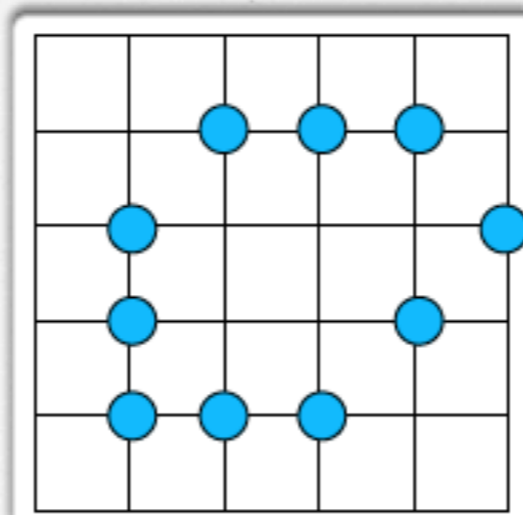
4. Modèles d'images

f) Discret

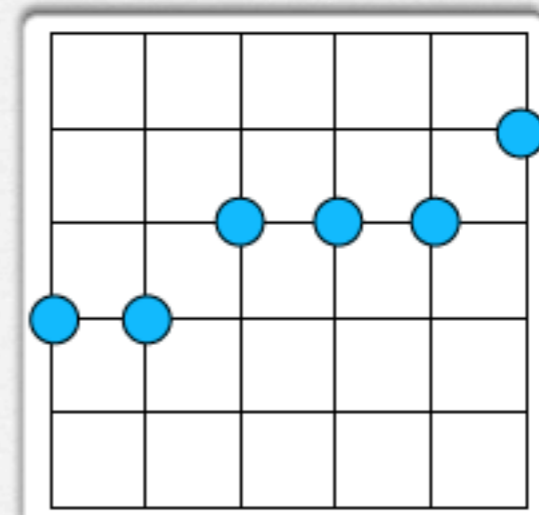
- * La *géométrie discrète* est une discipline aussi ancienne que le traitement d'images.
- * Contrairement au modèle *différentiel* qui considère les structures géométriques (courbes, surfaces, droites, etc) comme des approximations numériques de leurs homologues continues, ou au modèle *fréquentiel* qui traduit la discrétisation en termes de perte d'information, le modèle *discret*, lui, intègre l'espace échantillonné comme cadre mathématique, et s'efforce de donner un cadre formel aux structures géométriques discrètes : définition, propriétés, théorèmes, ...



Quelle est la distance?



Qu'est-ce qu'un trou?

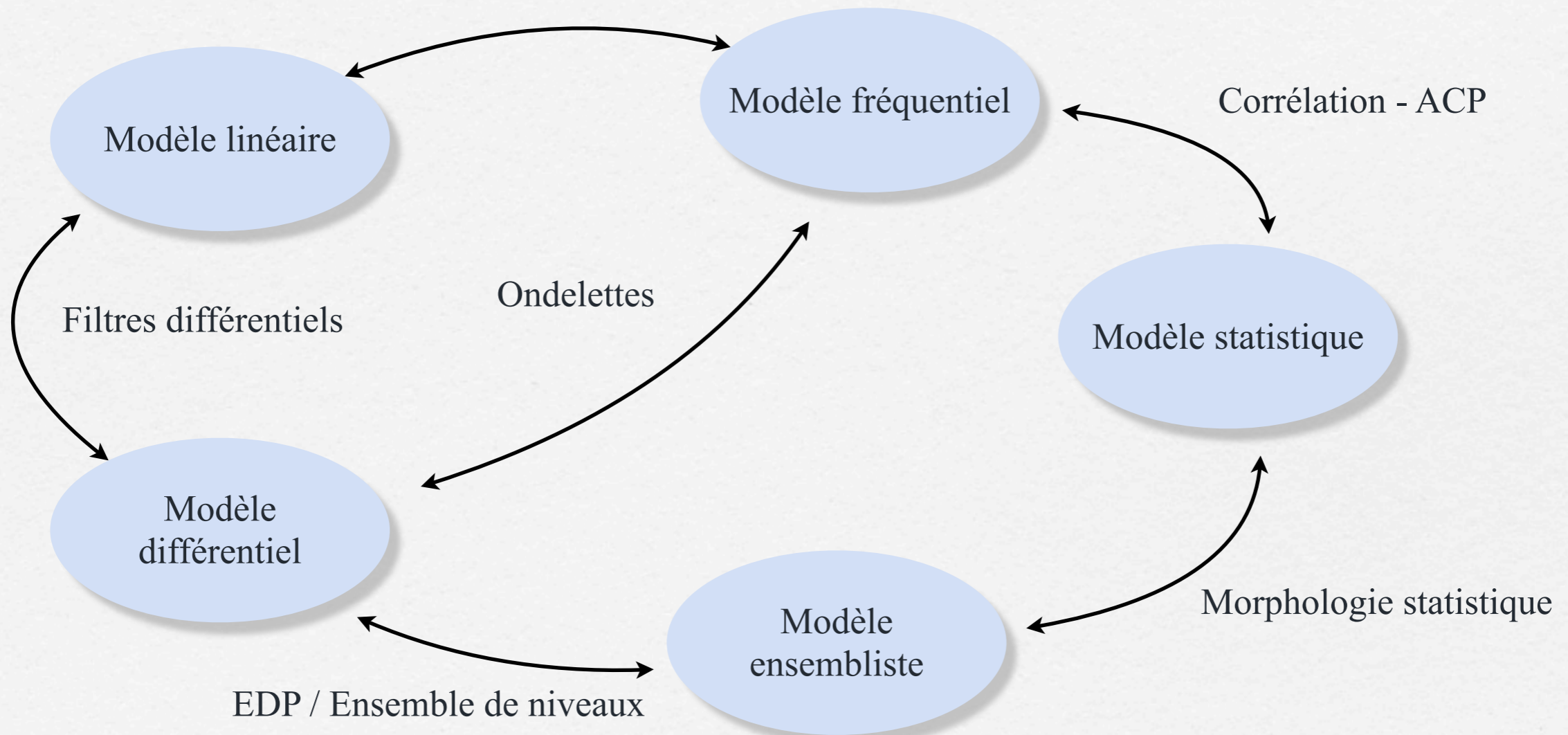


Qu'est-ce qu'une droite?

2. IMAGES NUMÉRIQUES

4. Modèles d'images

dualité : convolution/multiplication



RÉCAPITULATIF DU THÈME

RÉCAPITULATIF DU THÈME

Analyse d'image

- ➡ Traitement, analyse; distinctions entre les 2 classes
- ➡ Amélioration de la qualité : réduction du bruit, amélioration du contraste
- ➡ Extraction de caractéristiques : contours, régions, points d'intérêts
- ➡ Place de l'analyse/traitement dans la chaîne d'imagerie

RÉCAPITULATIF DU THÈME

Analyse d'image

- ➔ Traitement, analyse; distinctions entre les 2 classes
- ➔ Amélioration de la qualité : réduction du bruit, amélioration du contraste
- ➔ Extraction de caractéristiques : contours, régions, points d'intérêts
- ➔ Place de l'analyse/traitement dans la chaîne d'imagerie

Image numérique

- ➔ Image matricielle vs image vectorielle
- ➔ Fonction d'image : cas courants ($n = 1$ ou 255 , $m = 1$ ou 3)
- ➔ Formats pnm binaire ou ascii : pbm, pgm, ppm, binaire
- ➔ Modèles mathématiques : Linéaire, fréquentiel, statistique, différentiel, ensembliste, discret

RÉFÉRENCES (POUR EN SAVOIR PLUS)

📌 R.C. Gonzalez and R.E. Woods (DIP2).

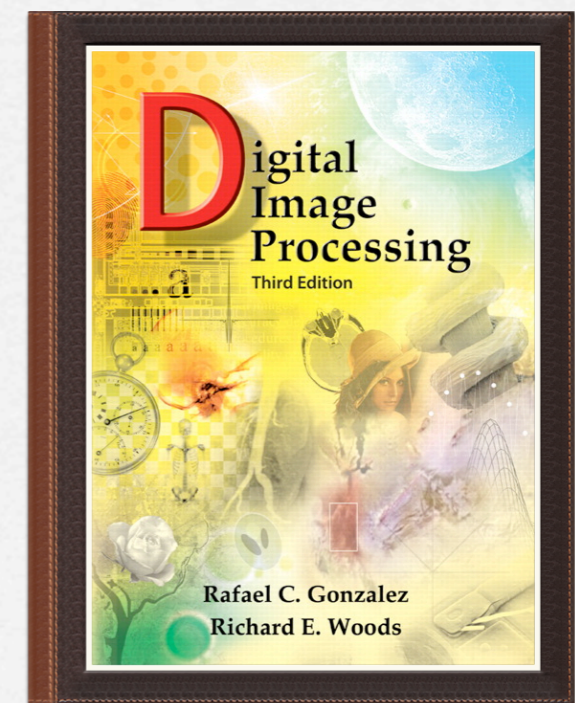
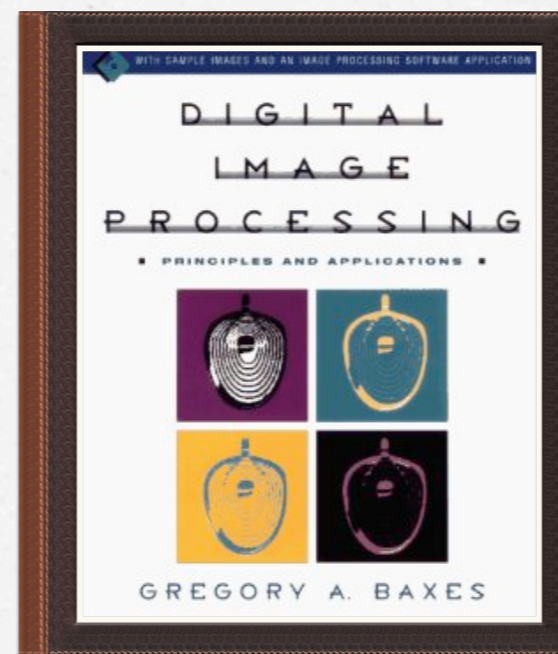
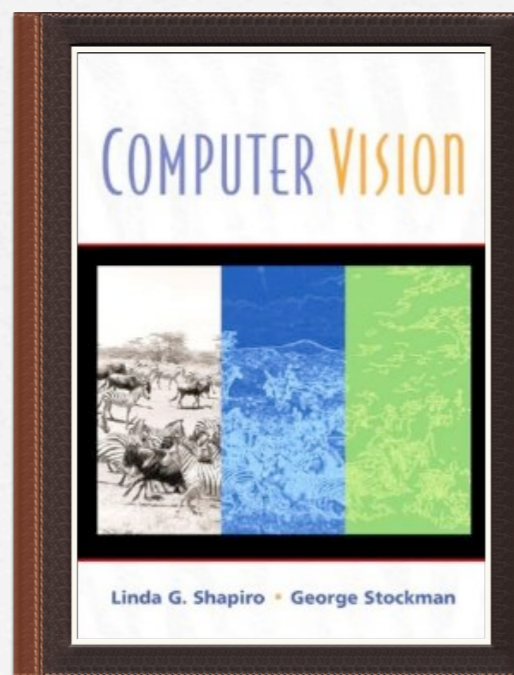
Digital Image Processing. Addison Wesley, 2008. TA 1632 G66 2008

📌 G.A. Baxes.

Digital Image Processing: Principles and Applications. John Wiley & Sons, New York, Toronto, 1994.

📌 L.G. Shapiro and G.C. Stockman.

Computer Vision. Prentice Hall, 2001 TA 1634 S52 2001



S'il n'y a pas mention contraire, les médias numériques sont produits par MFAF