

Analyse et reconnaissance de maillages 3D

lundi 28 avril 2014

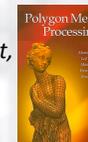
Jean-Philippe Vandeborre

jean-philippe.vandeborre@telecom-lille.fr
<http://www.telecom-lille.fr/people/vandeborre/>



Un peu de lecture

- **3D Object Processing**, J.-L. Dugelay, A. Baskurt, M. Daoudi, ed. Wiley & Sons Ltd. 2008
- **Vidéo 3D, capture, traitement et diffusion**, L. Lucas, C. Loscos, Y. Remion, ed. Hermès-Lavoisier, 2013
- **Polygon Mesh Processing**, M. Botsch, L. Kobbelt, M. Pauly, P. Alliez, B. Lévy, ed. A K Peters, Ltd. 2010
- **Numerical Geometry of Non-rigid Shapes**, A. M. Bronstein, M. M. Bronstein, R. Kimmel, ed. Springer, 2008



La 3D est partout !



De nombreux outils (hard & soft) existent



Vocabulaire

Objet 3D

 Modèle 3D

5

De nouvelles questions se posent...

~~« Comment créer un nouveau modèle 3D ? »~~



« Comment retrouver des modèles 3D dans une collection
 et qui soient semblables à ceux que je possède déjà ? »

et

« Comment obtenir la structure d'une *soupe de polygones* en 3D
 sans connaissance *a priori* du modèle ? »



« Comment réutiliser ce qui existe déjà
 et ainsi gagner du temps ? »

6

« Comment représenter un objet 3D ? »

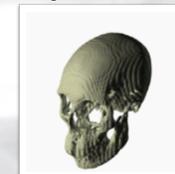
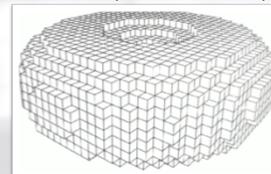
7

Deux grandes familles de représentation 3D

Représentation volumique

Représentation surfacique

- Représentation volumique à l'aide de *voxels* :
 - Présence ou absence de *matière*
 - Visualisation par rendu volumique ou *marching cubes*



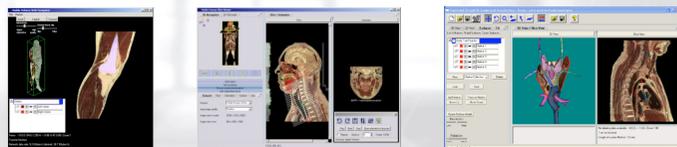
8

Représentation volumique

- Un exemple : le projet *Visible Human*
 - <http://www.nlm.nih.gov/research/visible/>



- EPFL Visible Human Server – <http://visiblehuman.epfl.ch/>

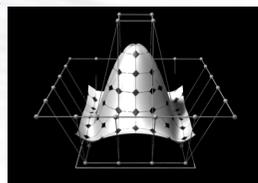


Représentation surfacique

- Représentation surfacique ou B-rep (*Boundary Representation*) :
 - Définition paramétrique
 $S = \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3, x = f_x(u, v), y = f_y(u, v), z = f_z(u, v), (u, v) \in \Delta \subset \mathbb{R}^2\}$
 - Définition explicite
 $S = \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3, z = f(x, y), (x, y) \in D \subset \mathbb{R}^2\}$
 - Définition implicite
 $S = \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3, f(x, y, z) = 0\}$
- Attention à certaines propriétés !
 - Capacité à représenter des objets plus ou moins complexes
 - Contrôle aisé (pour la modélisation interactive notamment)
 - Continuité entre *patches*
 - Facilité de stockage, de traitement et d'affichage
- Utilisation de surfaces avec points de contrôle comme Bézier, B-spline, NURBS (*Non-Uniform Rational B-Spline*)

Modélisation de surfaces

- Une surface NURBS



- 90 *patches* (carreaux surfaciques) NURBS assemblés



Modélisation d'objets 3D

- Logiciel de modélisation (Blender, 3D Studio, etc.)



Acquisition d'objets 3D

- Scanner laser

The diagram shows a laser scanner setup. A laser beam is projected through a cylindrical lens to form a laser sheet that scans an object. The direction of travel is indicated. The reflected light is captured by a CCD sensor on a CCD image plane. A photograph shows a real-world setup with a scanner and a mouse. A computer screen displays the resulting 3D point cloud and mesh of the mouse.

Acquisition d'objets 3D

- Microsoft Kinect (cartes de profondeurs, et bien plus...)

The image shows the Xbox 360 Kinect sensor. Labels point to the Projecteur Infra-rouge (Infrared projector), Caméra RGB (RGB camera), and Caméra Infra-rouge (Infrared camera). Below are two images: 'Rayons infrarouges de l'émetteur réfléchis dans la pièce (image obtenue avec des lunettes infrarouges)' showing a hand with infrared reflections, and 'Rendu de la carte de profondeur' showing a 3D depth map of a hand.

Maillage de polygones

- Représentation surfacique par lot de facettes ou maillage de polygones
 - Ensemble de facettes polygonales, généralement triangles ou quadrangles
 - Non nécessairement structuré (soupe de polygones) **PAS DE SEMANTIQUE !!!**
 - $M = \{V, E, F\}$ avec V les sommets (Vertices), E les arêtes (Edges) et F les faces
 - Approximation discrète d'une surface continue
 - Respecte la formule d'Euler : $N_V - N_E + N_F = \chi$
 - $\chi = 2$ si polyèdre convexe et 2 -manifold (2-variété en français)

The diagram shows a mesh of polygons with vertices labeled v_1, v_2, v_3 and edges labeled e_1, e_2, e_3 . Below are three examples of mesh structures: a sphere, a tetrahedron, and a complex shape.

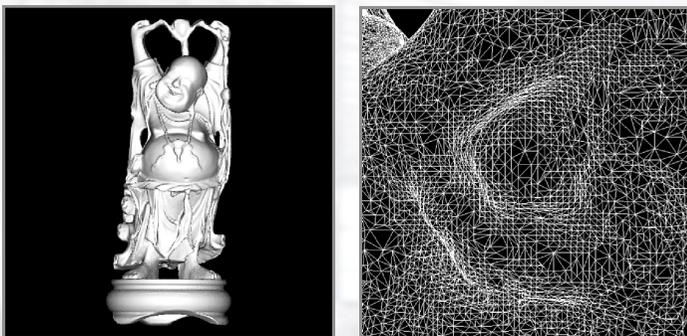
Maillage de polygones

- Avantages :
 - Format universel, commun à tous les outils
 - Format natif des scanners 3D et pour le rendu 3D
 - Niveau de détail adaptable
- Inconvénients :
 - Absence de structure (pas de sémantique !)
 - Perte de détail irréversible (sauf à utiliser une approche multi-rés.)
 - Taille mémoire occupée

The images show a shark model at four different levels of detail: 19,000 faces (high detail), 1,000 faces (medium detail), 100 faces (low detail), and 40 faces (very low detail).

Maillage de polygones

- Des niveaux de détails variables sur un même objet



17

Maillage de polygones



Unreal Engine 3 – <http://www.unrealtechnology.com/>

18

Maillage de polygones

- Différentes structures de données selon les besoins

Fa

Face List

f0	v0 v4 v5
f1	v0 v5 v1
f2	v1 v5 v6
f3	v1 v6 v2
f4	v2 v6 v7
f5	v2 v7 v3
f6	v3 v7 v4
f7	v3 v4 v4
f8	v8 v5 v4
f9	v8 v6 v5
f10	v8 v7 v6
f11	v8 v4 v7
f12	v9 v5 v4
f13	v9 v6 v5
f14	v9 v7 v6
f15	v9 v4 v7

Winged-Edge Meshes

Face List

f0	1 2 3
f1	3 4 5
f2	5 6 7
f3	7 8 9
f4	9 10 11
f5	11 12 13
f6	13 14 15
f7	15 16 17
f8	17 18 19
f9	19 20 21
f10	21 22 23
f11	23 24 25
f12	25 26 27
f13	27 28 29
f14	29 30 31
f15	31 32 33

Edge List

e0	f0 f1
e1	f1 f2
e2	f2 f3
e3	f3 f4
e4	f4 f5
e5	f5 f6
e6	f6 f7
e7	f7 f8
e8	f8 f9
e9	f9 f10
e10	f10 f11
e11	f11 f12
e12	f12 f13
e13	f13 f14
e14	f14 f15
e15	f15 f16
e16	f16 f17
e17	f17 f18
e18	f18 f19
e19	f19 f20
e20	f20 f21
e21	f21 f22
e22	f22 f23
e23	f23 f24
e24	f24 f25
e25	f25 f26
e26	f26 f27
e27	f27 f28
e28	f28 f29
e29	f29 f30
e30	f30 f31
e31	f31 f32
e32	f32 f33
e33	f33 f34
e34	f34 f35
e35	f35 f36
e36	f36 f37
e37	f37 f38
e38	f38 f39
e39	f39 f40
e40	f40 f41
e41	f41 f42
e42	f42 f43
e43	f43 f44
e44	f44 f45
e45	f45 f46
e46	f46 f47
e47	f47 f48
e48	f48 f49
e49	f49 f50
e50	f50 f51
e51	f51 f52
e52	f52 f53
e53	f53 f54
e54	f54 f55
e55	f55 f56
e56	f56 f57
e57	f57 f58
e58	f58 f59
e59	f59 f60
e60	f60 f61
e61	f61 f62
e62	f62 f63
e63	f63 f64
e64	f64 f65
e65	f65 f66
e66	f66 f67
e67	f67 f68
e68	f68 f69
e69	f69 f70
e70	f70 f71
e71	f71 f72
e72	f72 f73
e73	f73 f74
e74	f74 f75
e75	f75 f76
e76	f76 f77
e77	f77 f78
e78	f78 f79
e79	f79 f80
e80	f80 f81
e81	f81 f82
e82	f82 f83
e83	f83 f84
e84	f84 f85
e85	f85 f86
e86	f86 f87
e87	f87 f88
e88	f88 f89
e89	f89 f90
e90	f90 f91
e91	f91 f92
e92	f92 f93
e93	f93 f94
e94	f94 f95
e95	f95 f96
e96	f96 f97
e97	f97 f98
e98	f98 f99
e99	f99 f100

Vertex List

v0	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33
v1	34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100
v2	101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000

Winged Edge Structure

Images : Wikipedia

19

Limitation de la reconnaissance 3D

... dans cet exposé tout du moins ☺

- On se limitera à la reconnaissance d'objets 3D...
 - ... représentés par leurs surfaces à l'aide de maillages de polygones...
 - ... polygones qui sont généralement des triangles.
 - Le maillage est une approximation d'une surface fermée...
 - ... et est une 2-variété (*manifold*) sans bord...
 - ... mais le genre de la surface peut être quelconque.
 - Le maillage aura une résolution relativement élevée...
 - ... pour être reconnu au moins par un être humain ☺
- On ne s'intéresse qu'à la forme de l'objet
- Il reste bien sûr des défis à surmonter !

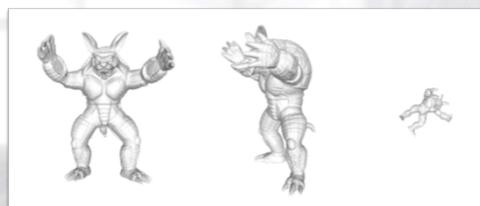
20

Challenges de la reconnaissance 3D

- Qualité du maillage / bruit



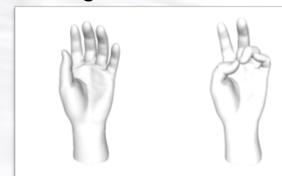
- Transformations rigides



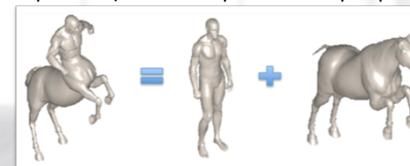
21

Challenges de la reconnaissance 3D

- Transformations non-rigides



- Objets composites (recherche partielle ou par parties)

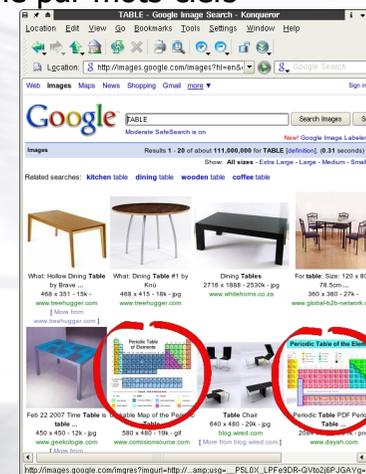


22

« Comment retrouver des modèles 3D existants ? »

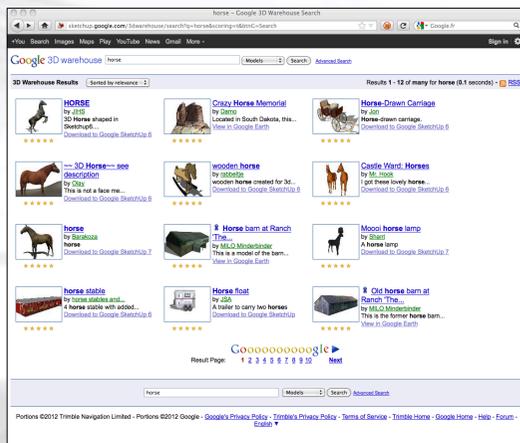
23

Recherche par mots-clefs



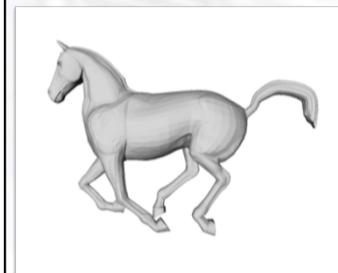
24

Recherche par mots-clés

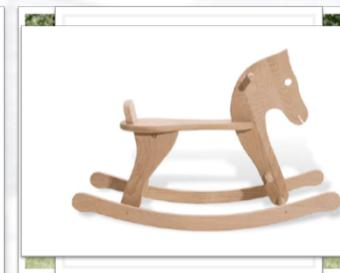


Recherche par l'exemple...

... d'un objet 3D



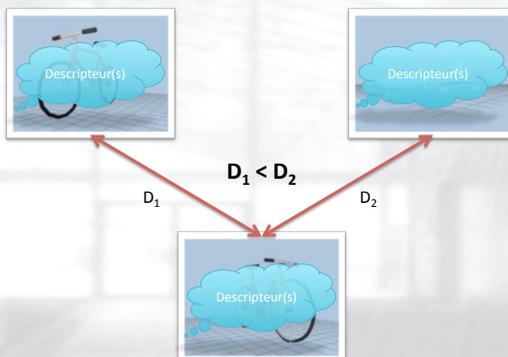
... d'une image, un dessin, etc.



Facile et intuitif !

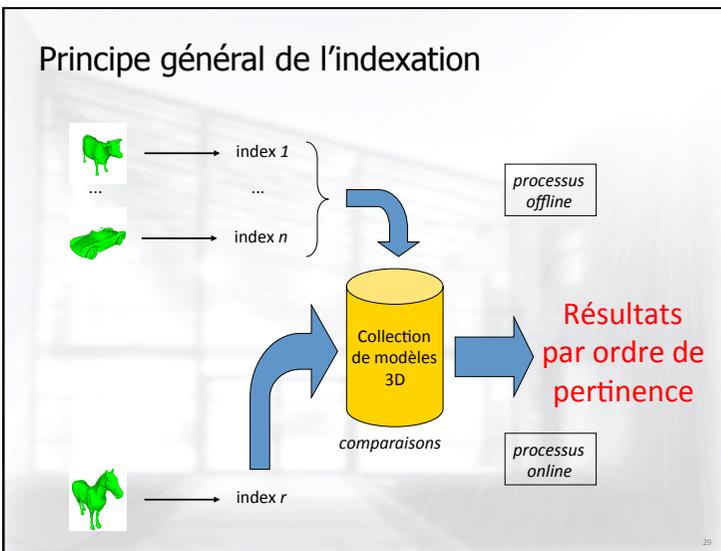
Distance entre deux modèles ?

- Est-il possible de calculer une « distance visuelle » entre deux objets 3D ?



Trois grandes familles de descripteurs

- Statistiques :
 - Deux modèles 3D sont considérés proches si leurs descriptions statistiques le sont aussi
- Vues caractéristiques :
 - Deux modèles 3D sont considérés proches si les vues 2D qui les caractérisent le sont aussi
- Graphes :
 - Deux modèles 3D sont considérés proches si leurs structures (squelette ou graphe) le sont aussi
- ... et un mélange de tout ça est aussi possible !



« Comment retrouver des modèles 3D existants ? »

Approche statistique

Approche statistique

- Trois exemples de descripteurs statistiques de formes :
 - Les courbures (Zaharia et Prêteux 2002)
 - Les distances entre points (Osada et al. 2001)
 - Les volumes élémentaires liés aux facettes (Zhang et Chen 2001)
- Par un point d'une surface passent une infinité de courbes
- Deux valeurs sont remarquables : k_1 et k_2 (resp. courbure maximale et courbure minimale)

$k_1 = k_2 = 2$ $k_1 = k_2 = -2$ $k_1 = 2 ; k_2 = -2$ $k_1 = 2 ; k_2 = 0$

Approche statistique : distribution de courbures

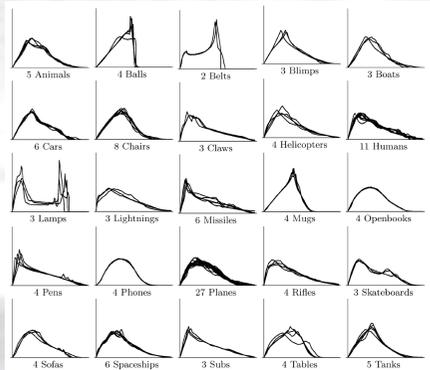
- Distribution de la valeur I_p (Koenderink et van Doorn 1992) en chaque sommet du maillage (Zaharia et Prêteux 2002)

$$I_p = \frac{2}{\pi} \arctan\left(\frac{k_p^1 + k_p^2}{k_p^1 - k_p^2}\right), \quad k_p^1 \geq k_p^2$$

-1 -0,5 0 +0,5 +1

Approche statistique : distribution de distances euclidiennes

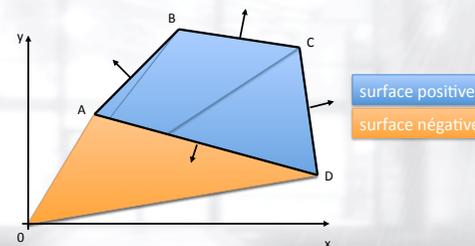
- Distribution des distances euclidiennes entre (un très grand nombre de) couples de points du maillage (Osada et al. 2001)



33

Approche statistique : distribution de volumes élémentaires

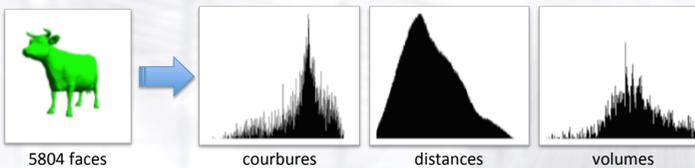
- Distribution des volumes élémentaires liés à chaque facette du maillage
- Exemple en 2D (surfaces) :



34

Approche statistique : distances entre distributions...

- Un objet 3D est caractérisé par trois distributions

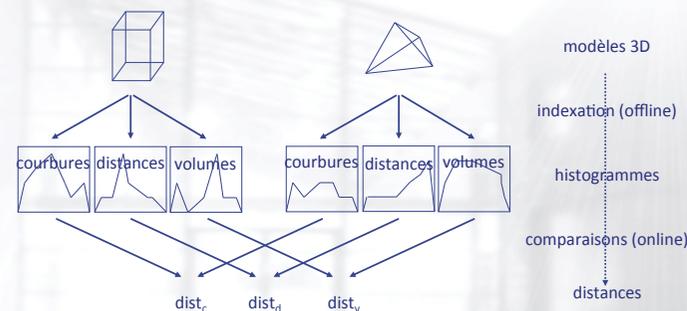


- Calcul de distance entre histogrammes

$$D_{Lp}(f_1, f_2) = \left(\int |f_1(x) - f_2(x)|^p \cdot dx \right)^{1/p}$$

35

Approche statistique : ... et distance entre objets 3D



36

Approche statistique : avantages et inconvénients

- ✓ purement 3D, indépendant du point de vue
- ✓ descripteurs facilement et rapidement calculables
- ✓ distances facilement et (très) rapidement calculables
- ✓ fonctions se trouvant dans toute bibliothèque de manip. maillages
- ➔ dépendant de la qualité du maillage
- ➔ global
- ➔ inutilisable pour les recherches partielles et les transformations non-rigides

37

« Comment retrouver des
modèles 3D existants ? »

Approche par vues caractéristiques 2D

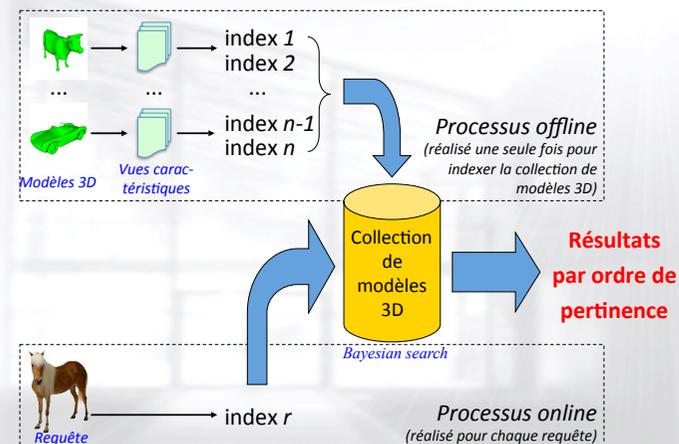
38

Utiliser des vues caractéristiques

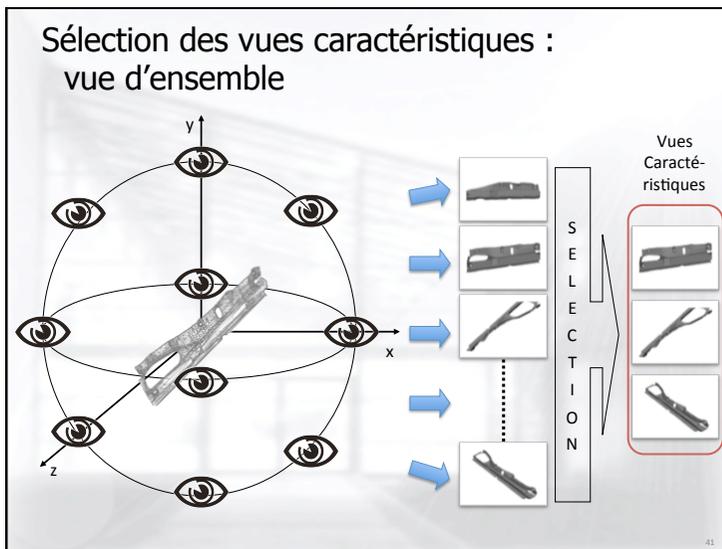
- La représentation des objets 3D par leurs vues 2D caractéristiques est efficace :
 - Le système visuel humain représente les objets 3D par leurs vues 2D (Riesenhuber and Poggio, 2000)
 - Les méthodes orientées vues 2D sont les meilleures selon de nombreux articles de l'état de l'art en reconnaissance 3D et des benchmarks internationaux (Princeton Shape Benchmark, SHREC, ...)
 - Ces méthodes ne sont pas sensibles à la qualité du maillage
 - L'approche est intuitive
- Idée principale :
Si différents points de vue de deux objets 3D sont similaires, alors ces deux objets 3D sont également similaires.

39

Principe général de l'indexation

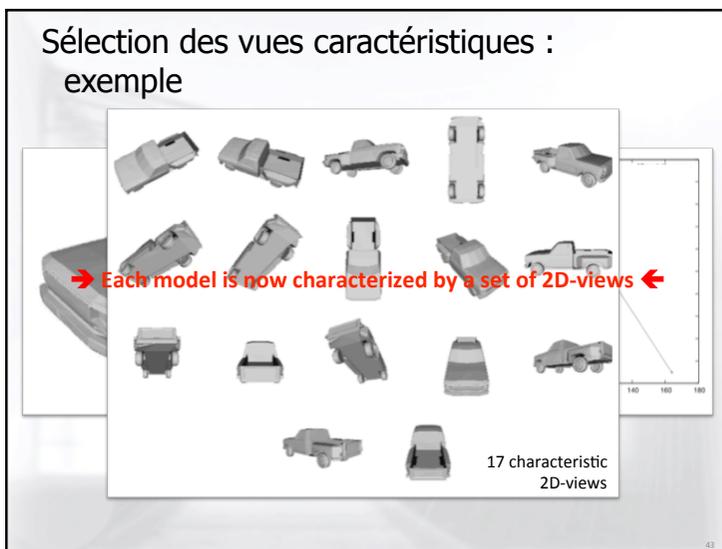
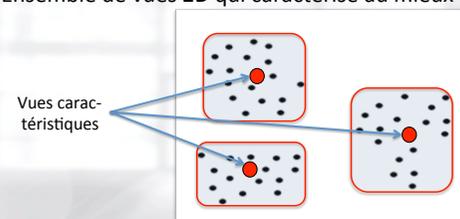


40



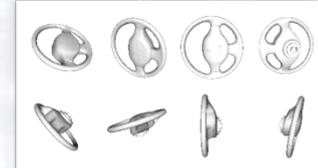
Sélection des vues caractéristiques : *Adaptive Views Clustering*

- Problème de classification
- Ensemble initial de 320 vues (carac. par moments de Zernike)
- Algorithme *X-means* (Pelleg et Moore, 2000)
 - Itérations de l'algorithme *K-means* avec $k \in [1..40]$
 - Critère d'information (BIC, *Bayesian Information Criteria* (Schwarz, 1978))
- Ensemble de vues 2D qui caractérise au mieux un objet 3D



Reconnaissance 3D probabiliste

- Deux remarques essentielles :
 - Toutes les vues ne fournissent pas la même qualité/quantité d'information



- Des objets très simples peuvent être à la base d'objets plus complexes



- Les probabilités permettent de prendre ces remarques en compte !

Reconnaissance 3D probabiliste

$$P(M_i, Vc_{M_i}^j / Q) = \frac{P(h_j / Vc_{M_i}^j, M_i)P(Vc_{M_i}^j / M_i)P(M_i)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{\hat{v}} P(h_j / Vc_{M_i}^j, M_i)P(Vc_{M_i}^j / M_i)P(M_i)}$$



Pour plus de détails : "A Bayesian 3D Search Engine using Adaptive Views Clustering", T. Filali Ansary, M. Daoudi, J-P. Vandeborre, *IEEE Transactions on Multimedia*, volume 9, number 1, pp. 78-88, January 2007 😊

45

Quelques résultats sur deux collections

- Pièces mécaniques de la voiture *Laguna II* (Renault)
 - Projet RNRT SEMANTIC-3D (2002 – 2006)
 - 5 000 modèles 3D
 - 758 modèles classés en 76 classes



- Princeton Shape Benchmark (Shilane et al. 2004)
 - 1 814 modèles 3D
 - Classifiés en 161 catégories



46

Quelques résultats : collection SEMANTIC-3D (Renault)

Criteria	Fist T. (758)	Second T. (758)	First T. (5000)	Second T. (5000)
Spherical Harmonics (SHD) (Kazhdan et al. 2003)	0.92	0.94	0.80	0.91
Hough Transform (DH3DO-QV) (Zaharia and Prêteux, 2004)	0.93	0.96	0.83	0.92
Angular Radial Transform (ART3D) (Ricard et al. 2005)	0.89	0.92	0.78	0.84
Adaptative Views Clustering (AVC) (Filali et al. 2005)	0.92	0.95	0.88	0.94

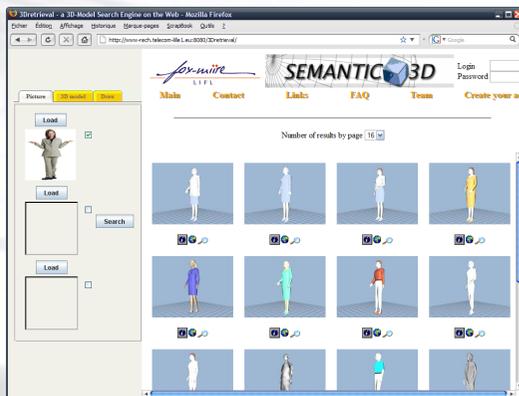
47

Quelques résultats : Princeton Shape Benchmark

Méthodes	Critères						
	Taille	NN	FT	ST	E-Meas.	DCG	N-DCG
LFD	4 700	65.7%	38.0%	48.7%	28.0%	64.3%	21.3%
AVC (proba)	1 113	60.6%	33.2%	44.3%	25.5%	60.2%	13.48%
REXT	17 416	60.2%	32.7%	43.2%	25.4%	60.1%	13.3%
GEDT	32 776	60.3%	31.3%	40.7%	23.7%	58.4%	10.2%
AVC (dist.)	1 113	58.2%	31.1%	42.7%	25.1%	59.9%	11.8%
SHD	2 184	55.6%	30.9%	41.1%	24.1%	58.4%	10.2%
2-GR	512	55.5%	28.7%	39.1%	23.0%	56.3%	—
EXT	552	54.9%	28.6%	37.9%	21.9%	56.2%	6.0%
SECSHEL	32 776	54.6%	26.7%	35.0%	20.9%	54.5%	2.8%
VOXEL	32 776	54.0%	26.7%	35.3%	20.7%	54.3%	2.4%
SECTORS	552	50.4%	24.9%	33.4%	19.8%	52.9%	-0.3%
CEGI	2 056	42.0%	21.1%	28.7%	17.0%	47.9%	-9.6%
EGI	1 032	37.7%	19.7%	27.7%	16.5%	47.2%	-10.9%
D2	136	31.1%	15.8%	23.5%	13.9%	43.4%	-18.2%
SHELLS	136	22.7%	11.1%	17.3%	10.2%	38.6%	-27.3%

48

Quelques résultats : moteur de recherche 3D en ligne



<http://www-rech.telecom-lille.fr/3dretrieval/>

49

Approche par vues caractéristiques 2D : avantages et inconvénients

- ✓ indépendant de la qualité du maillage
- ✓ descripteurs facilement et rapidement calculables
- ✓ probabilités prenant en compte l'importance des vues
- ✓ se généralise facilement aux requêtes 3D
- ➖ nécessite un prétraitement de la requête 2D
- ➖ inutilisable pour les recherches partielles et les transformations non-rigides

50

« Comment retrouver des
modèles 3D existants ? »

Approche par
vues caractéristiques 2D
Un peu plus tard...

51

« Comment retrouver des
modèles 3D existants ? »

Sac de mots

52

Changement de pose et recherche partielle : Sacs de mots (*Bag-of-Features*) (Toldo et al. 2009)

3D object database

Feature extraction and description

Clustering in the feature space

Visual dictionary (the codebook)

Local feature extraction and description

Nearest codeword assignment

Occurrences

Bag of codewords

(Lavoué 2011)

Changement de pose et recherche partielle : descripteurs 3D sur patches locaux

Distribution de distances géodésiques

Points caractéristiques

Ensemble de courbes

Changement de pose et recherche partielle : Sacs de mots (*Bag-of-Features*)

Avec tous les descripteurs de toutes les parties de tous les modèles 3D

Classification dans l'espace des descripteurs

Vocabulaire avec des "mots-clefs"

Chaque modèle 3D est décrit par une distribution de "mots-clefs", comme pour les techniques de recherche de texte

Changement de pose et recherche partielle : quelques résultats de recherche partielle

Query	Retrieved results					

Base SHREC 2007 – 400 modèles 3D, 20 classes – *partial shape retrieval*

« Comment retrouver la structure
d'un modèle 3D maillé ? »

57

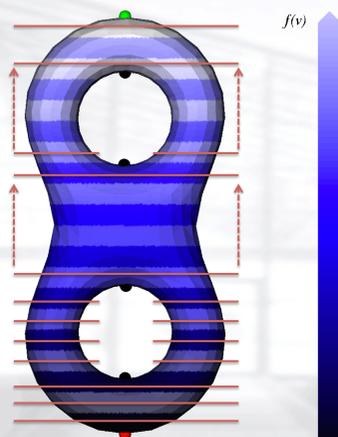
Squelette topologique et graphe de Reeb

- Pourquoi utiliser un squelette topologique ?
 - Met en évidence la topologie du modèle 3D (ex. le genre de la surface)
 - Décompose le maillage en parties sémantiques (ou presque ☺)
 - Algorithme rapide
- Graphe de Reeb (Reeb, 1946) : structure topologique qui représente les relations de connectivité des points critiques d'une fonction de Morse (*) définie sur la surface en question.
 - Sommets du graphe : points critiques de la fonction de Morse
 - Arcs du graphe : composantes connexes des lignes de niveau de la fonction

(*) aussi appelée *fonction d'application*

58

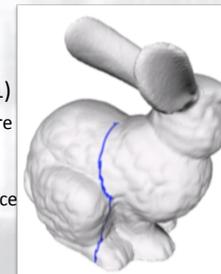
Construction d'un graphe de Reeb :
un exemple sur un bitore



59

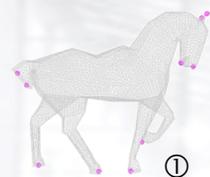
Quelle fonction d'application choisir ?

- Question primordiale : choisir une fonction d'application correcte
 - Fonction de Morse ou Morse linéaire par morceaux au moins
 - Invariantes aux transformations rigides (translatio, rotation, etc.) et éventuellement aux transformations non-rigides
 - Facile et rapide à calculer
- Fonction basée sur la distance géodésique (Lazarus et Verroust, 1999 ; Hilaga et al. 2001)
 - Distance géodésique : distance la plus courte entre deux points d'une surface, tout en restant sur la surface
 - Pour chaque point v du maillage, $f(v)$ est la distance géodésique de v vers le point caractéristique du maillage le plus proche



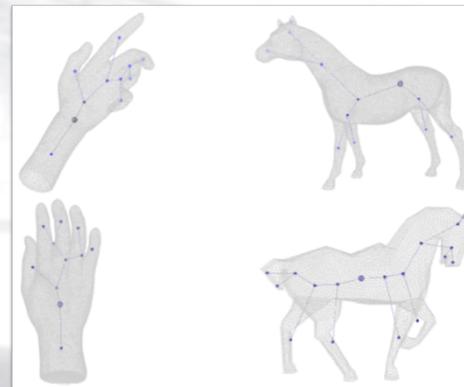
60

Vue d'ensemble de la méthode



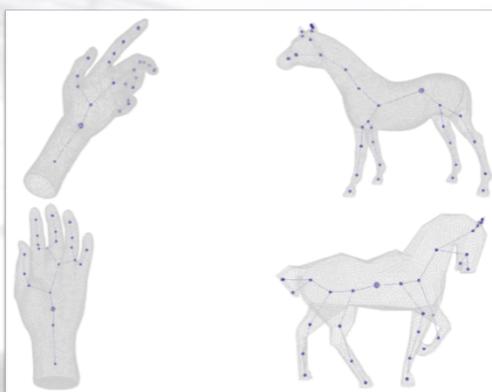
61

Exemples de graphes topologiques



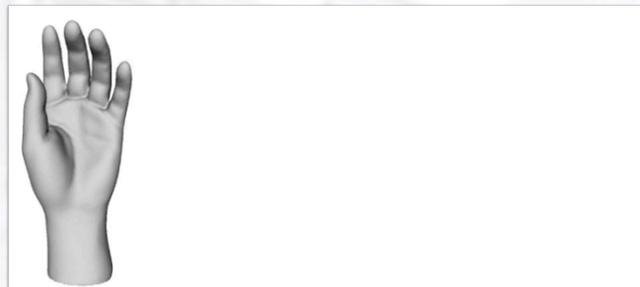
62

Exemples de graphes topologiques améliorés



63

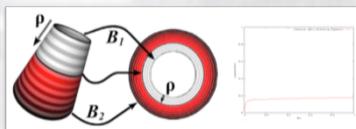
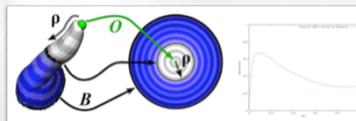
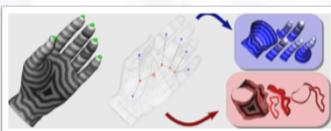
Applications : déformation de maillage



64

Applications : recherche par parties

- Principe général :
Deux modèles 3D sont similaires si leurs sous-parties le sont aussi
- Dépliage de cartes de Reeb
(Tierny et al. 2007)

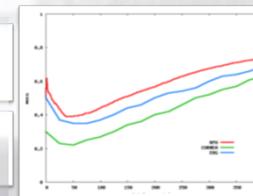


- Mise en correspondance de sous-graphes

65

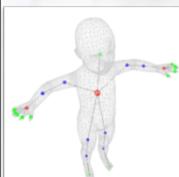
Applications : recherche par parties

- SHREC 2007 *partial matching contest* :
 - 400 modèles 3D (20 classes)
 - 30 modèles hybrides pour les requêtes
- Performances :
 - 14.1% de gain par rapport aux meilleures méthodes
 - 4 à 30 secondes par requête



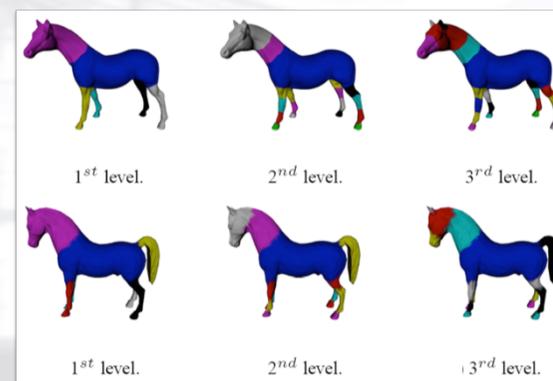
66

Applications : Segmentation hiérarchique de maillages 3D



67

Applications : Segmentation hiérarchique de maillages 3D



68

« Comment évaluer les méthodes de segmentation de maillages 3D ? »

69

Pourquoi s'intéresser à cette évaluation ?

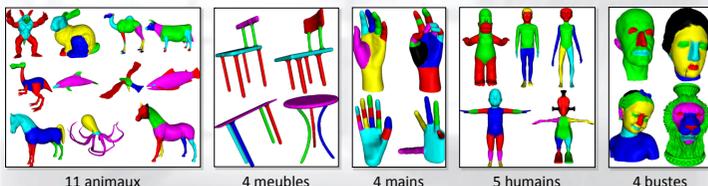
- Domaine relativement récent avec peu de publications (Attene et al. 2006 ou Shamir 2008)
- Etape importante pour l'indexation et les nouvelles méthodes d'indexation partielle
- Mais...
 - Il n'existe pas de protocole d'évaluation
 - Les algorithmes actuels ne prennent pas en compte la connaissance humaine
- Ce que nous avons proposé (Benhabiles et al. 2011) :

Un benchmark d'évaluation en ligne
Un nouvel algorithme de segmentation par apprentissage

70

Benchmark pour l'évaluation des méthodes de segmentation

- Une méthode supervisée :
 - Une collection de maillages 3D avec vérités-terrains multiples
 - Une métrique pour comparer deux segmentations
- La collection avec vérités-terrains
 - 28 maillages en 5 classes (de INRIA Gamma, Princeton db, AIM@Shape, etc.)
 - 4 vérités-terrains par maillage



11 animaux

4 meubles

4 mains

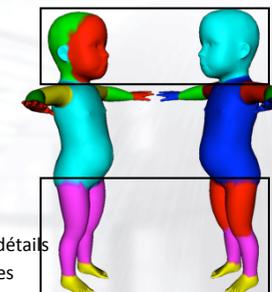
5 humains

4 bustes

71

Benchmark pour l'évaluation des méthodes de segmentation

- Des volontaires pour la vérité-terrain :
 - 36 personnes (étudiants, enseignants, administratifs, etc.)
 - Segmentations manuelles (avec *MeshLab*)
 - Pas de segmentation "ridicule"
- Vérités-terrains multiples :
 - Plusieurs degrés de raffinement
 - Dépend de l'attention de la personnes aux détails
 - 28 x 4 vérités-terrains = 112 segm. manuelles
- Disponible en ligne :
<http://www-rech.telecom-lille.fr/3dsegbenchmark>



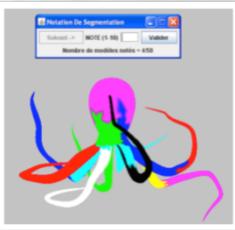
72

Benchmark pour l'évaluation des méthodes de segmentation

- Evaluation subjective de la qualité des segmentations
- Création d'un corpus de 250 segmentations (v-terrains, aléatoires, Shapira et al 2008, Tierny et al. 2007, Attene et al. 2006, Lavoué et al. 2005)
- 45 volontaires ont donné 10 notes par segmentation (MOS)

	Ground-truth	Shapira et al.	Tierny et al.	Attene et al.	Lavoué et al.	Random
Animal	1 / 8.26	2 / 7.20	3 / 5.72	5 / 4.83	4 / 5.01	6 / 2.37
Bust	1 / 8.03	2 / 4.64	4 / 2.81	3 / 3.64	5 / 2.64	6 / 1.78
furniture	1 / 9.25	3 / 7.74	5 / 3.35	2 / 8.53	4 / 6.21	6 / 1.99
Hand	1 / 8.68	5 / 4.82	2 / 7.64	4 / 4.85	3 / 5.53	6 / 1.60
Human	1 / 7.77	2 / 6.77	3 / 5.20	5 / 4.54	4 / 4.62	6 / 2.28
Whole	1 / 8.36	2 / 6.51	3 / 5.27	4 / 5.21	5 / 4.92	6 / 2.10

Algorithm ranking with average MOS values



Benchmark pour l'évaluation des méthodes de segmentation

- Métrique de comparaison – 3D-(N)PRI: 3D (Normalized) Probabilistic Rand Index (adapted from (N)PRI, Unnikrishnan et al. 2007)
 - Gère les segmentations dégénérées
 - Robuste au raffinement de segmentations
 - Robuste à l'imprécision des frontières de segments
 - Prend en compte les vérités-terrains multiples
- Comparaison à d'autres métriques de l'état de l'art

	CDI	OI	GCI	LCI	HDI	3D-NPRI
Animal	2.6	2.3	9.3	8.3	16.9	58.7
Bust	10.9	0	45.9	61.1	54.8	77.4
Furniture	5.8	14.8	49.9	50.5	63	73.2
Hand	21.2	1	54.1	54.4	57.5	70.2
Human	1.5	5.5	32.1	32.6	39	51.6
Whole	7.1	2.6	23.7	20.9	32.9	66.1

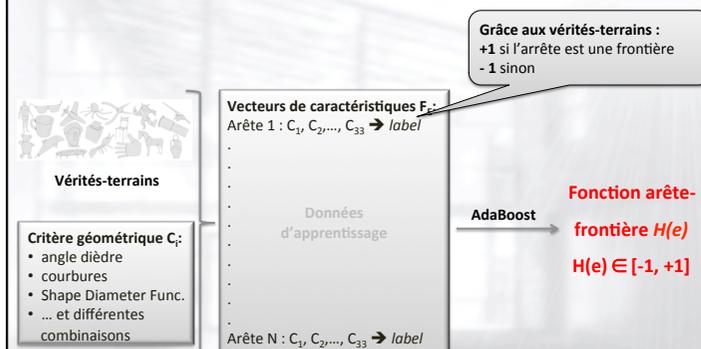
Correlation values (%) between MOS and values of different metrics

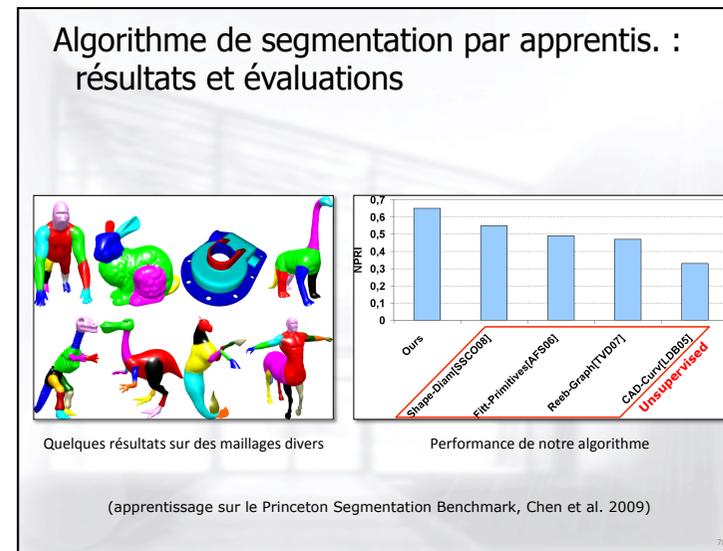
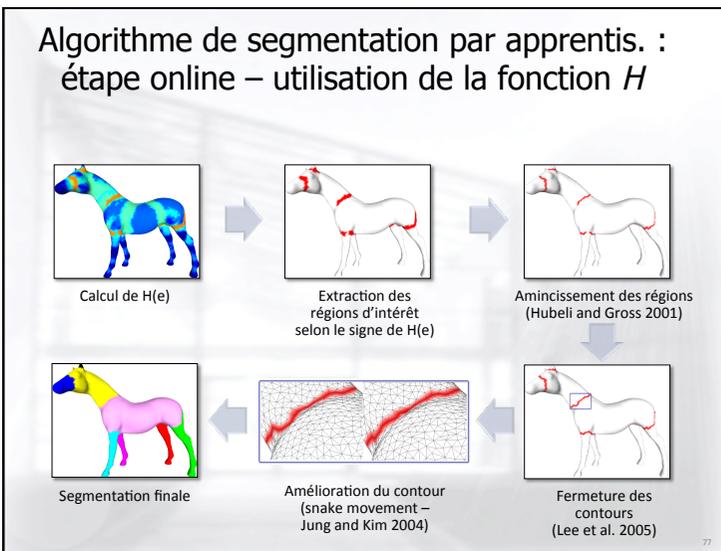
Algorithme de segmentation par apprentissage

- Prend en compte la connaissance humaine, ie. apprend "ce qu'est une arête frontière" grâce aux vérités-terrains
- Deux étapes :
 1. Etape offline : apprentissage de la fonction arête-frontière H grâce aux v-t.
 2. Etape online : utiliser la fonction H et un post-traitement pour obtenir une segmentation



Algorithme de segmentation par apprentissage : étape offline – apprentissage de la fonction H





Conclusion

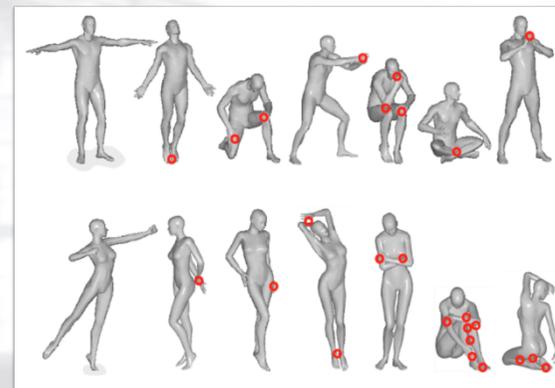
80

La 3D est partout ! ... et de plus en plus

- De nouveaux contenus 3D sont créés en continu
- Nécessité d'indexer ces collections...
- ... pour les réutiliser par la suite
- Des concours internationaux sont mis en place comme SHREC (depuis 10 ans)
- La reconnaissance de maillages statiques entiers n'est plus un champ de recherche maintenant...

81

Perspectives : invariance à la pose, à la topologie, etc.

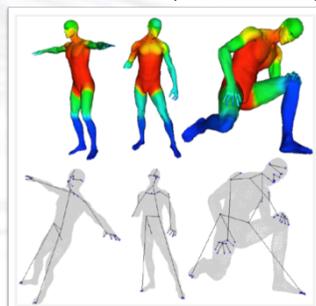


(collection TOSCA, Bronstein et al. 2007)

82

Perspectives : invariance à la pose, à la topologie, etc.

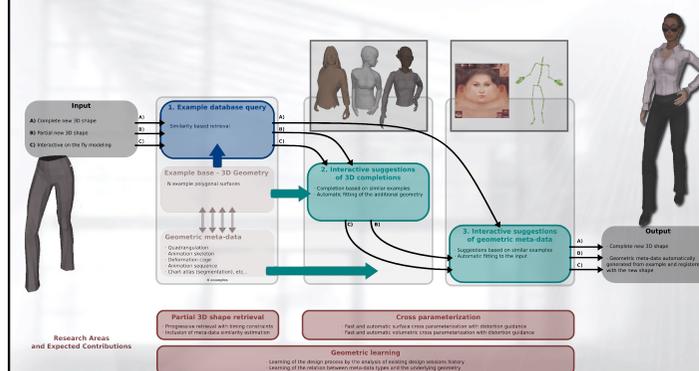
- Utilisation des fonctions de chaleur (*Heat Kernel Signature*)



- Une première approche :
 - El Khoury et al. "3D-mesh Reeb graph computation using commute-time and diffusion distances", SPIE Electronic Imaging 3DIP, January 2012

83

Perspectives : modélisation 3D basée exemples

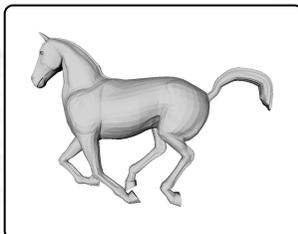


Projet ANR CrABEx (2013 – 2017) en cours

84

Perspectives : maillages 3D dynamiques (3D+t)

- Objet 3D animé "image par image"
- Un maillage 3D par "image"
- Géométrie pouvant varier au cours du temps
- Connectivité du maillage pas nécessairement constante au cours du temps



• Quelques approches :

- Tierny et al. "Fast and precise kinematic skeleton extraction of 3D dynamic meshes", IEEE ICPR 2008
- Benhabiles et al. "Kinematic skeleton extraction based on motion boundaries for 3D dynamic meshes", Eurographics workshop on 3DOR 2012

85

Perspectives : utilisation des maillages sortis de scanners



86

Merci pour votre attention !

87