

FACE RECOGNITION BY SURFACE MATCHING



Plan de la présentation



Contexte et problématique



Modélisation faciale 3D

- Motivation
- Notre approche
- Résultats et comparaison



Reconnaissance faciale 3D

- État de l'art de la reconnaissance faciale
- Principe et architecture
- Approche globale
- Approche orientée régions
- Approche géodésique
- Expérimentations et évaluations

Contexte général

☰ Lutte contre les fraudes, les vols, les crimes, le terrorisme,...

☰ Besoin de la sécurité

- services public (aéroport, transport, ...),
- domaine privé (secteur bancaire, ...),
- secteur professionnel (lieux de travail, ...),
- etc.

☰ Besoin d'identifier ou de s'assurer de l'identité des personnes

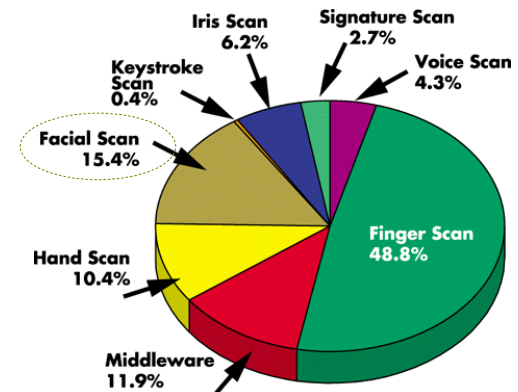
➔ Biométrie

☰ Pourquoi la modalité faciale ?

- 👍 acquisition **peu intrusive** et **sans contact**
- 👍 **plus acceptable** par les humains
- 👎 **taux de reconnaissance peu satisfaisant**



Source: International Biometric Group,
New York, NY; 1.212.809.9491



Problématique

Difficultés de la reconnaissance faciale

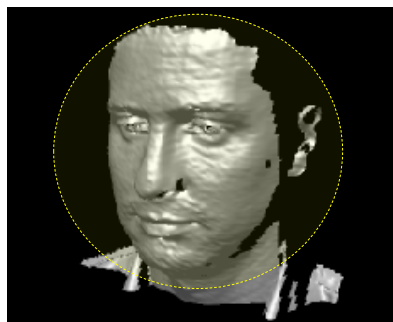
- (A) Variations intra-classes : illumination, Pose, expressions faciales, occlusion, accessoires, changement physiologique, etc.
- (B) Similarités inter-classes : liens familiaux, appartenances ethnique, etc.

Nouvelles formes d'acquisition

- IR (infrarouge),
- 3D (image de profondeur),

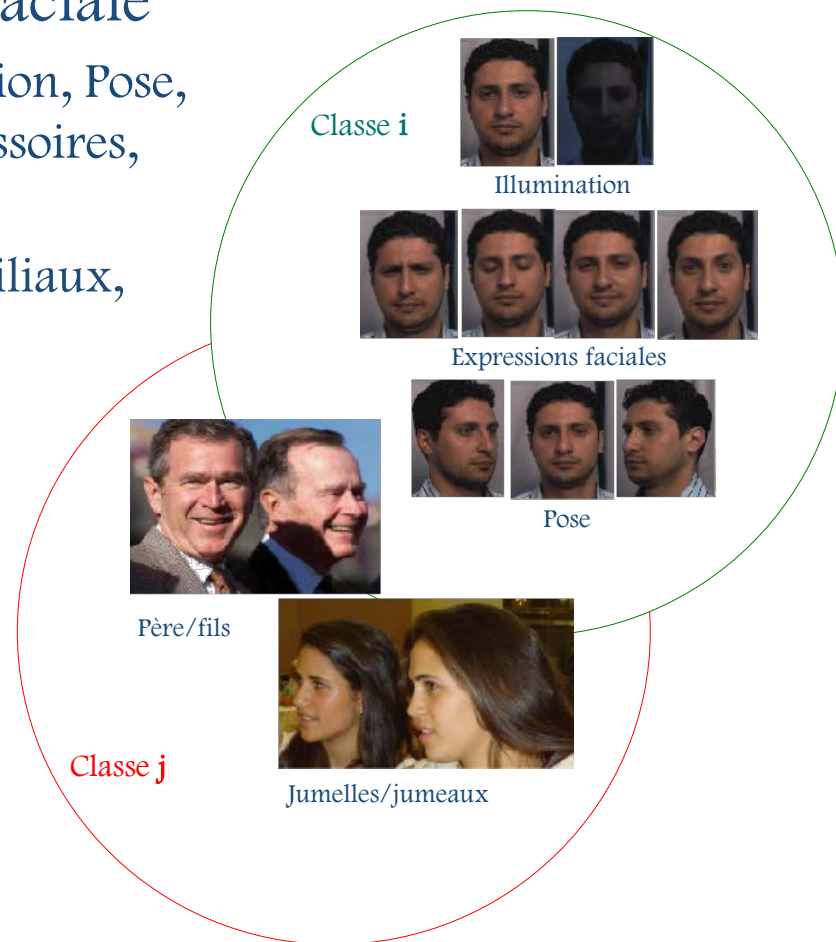


Acquisition infrarouge
(IR image)



Acquisition 3D
(range image)

(A) Variations intra-classes



(B) Similarités inter-classes

Notre approche

- ☰ **Reconnaissance faciale en 3D**
 - Acquisition de visages en 3D
 - Comparaison de visages en 3D

Plan de la présentation



Contexte et problématique

Reconnaissance faciale 3D

- État de l'art de la reconnaissance faciale
- Principe et architecture
- Approche globale
- Approche orientée régions
- Approche géodésique
- Expérimentations et évaluations

Motivation

Spécificité du contexte biométrique

- temps d'acquisition rapide
- acceptabilité du dispositif
- précision et densité du résultat

Analyse des dispositifs d'acquisition 3D

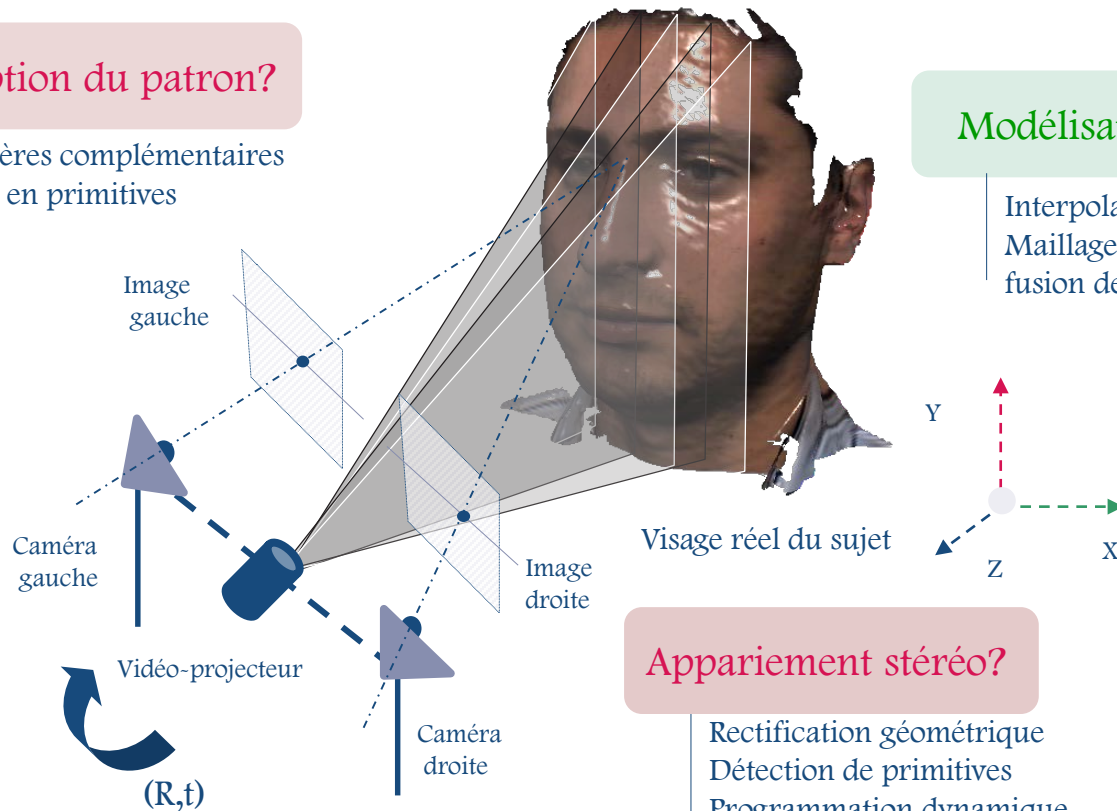
- méthodes à base de lumière laser
 - acceptabilité de la lumière laser
 - temps d'acquisition
- méthodes à base de lumières « douces »
 - densité de la reconstruction
 - précision des mesures
 - temps d'acquisition

Approche proposée

- Nouvelle approche hybride d'acquisition basée sur la **stéréovision active** et la **modélisation géométrique** dédiée aux visages humains

Conception du patron?

Lumières complémentaires
riche en primitives



Modélisation 3D?

Interpolation par des Splines
Maillage, recalage,
fusion de modèles, ...

Calibration du Capteur?

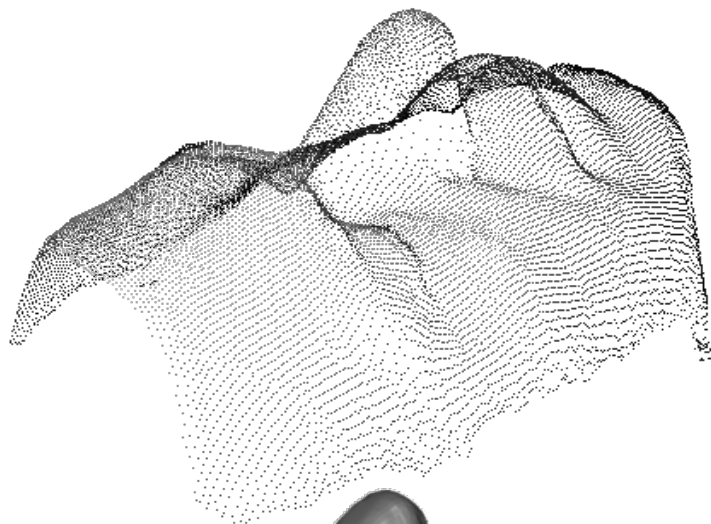
Calibration forte
Avec prise en compte des distorsions

Appariement stéréo?

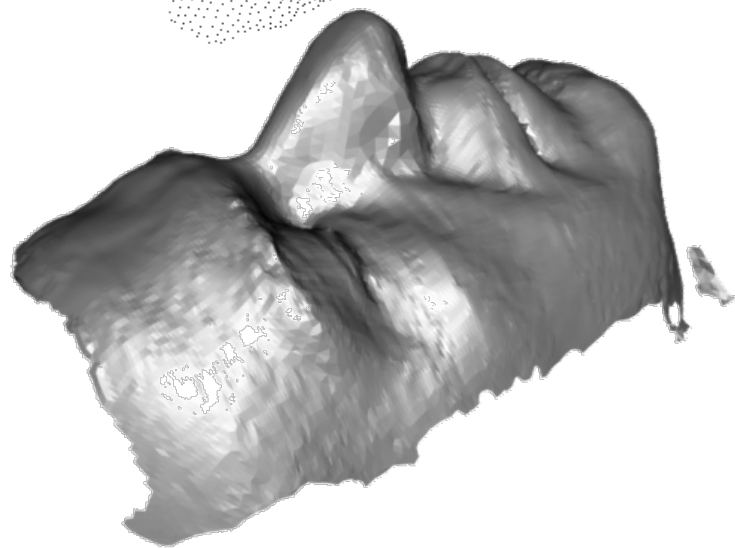
Rectification géométrique
Détection de primitives
Programmation dynamique

Résultat obtenu

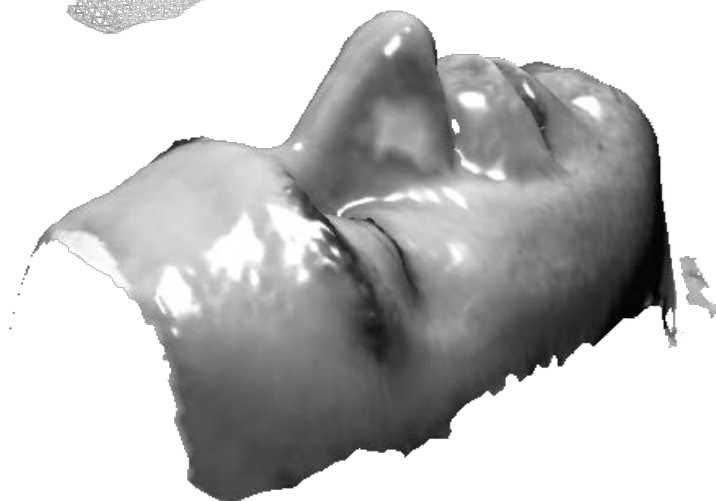
Points 3D



Maillage 3D



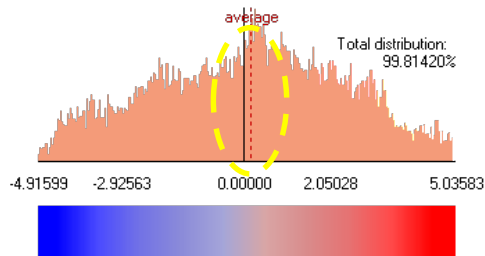
Surface 3D



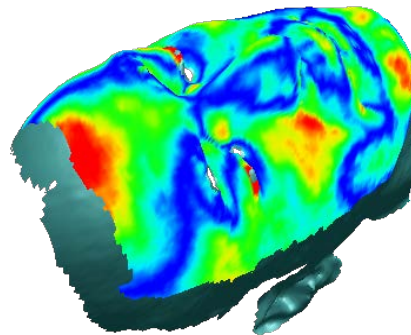
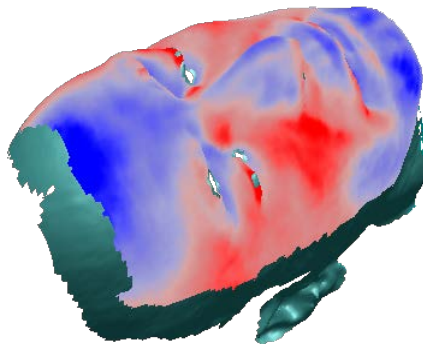
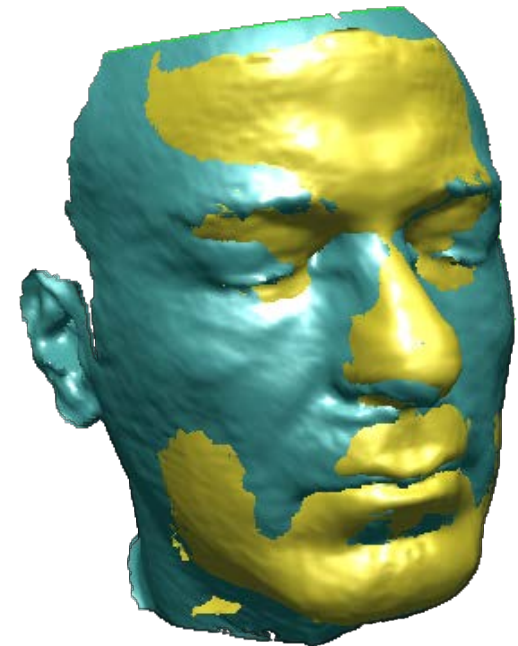
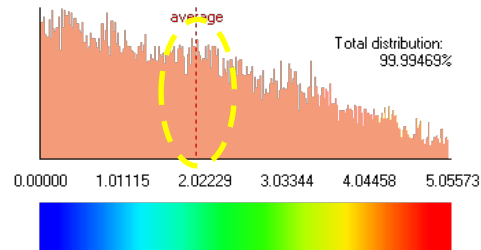
Modèle texturé

Procédure de validation

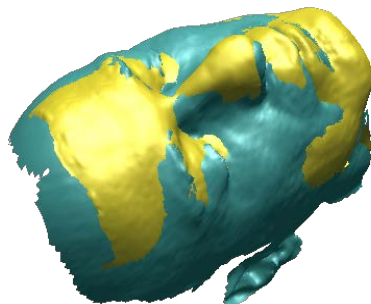
Déviatiion signée



Déviatiion absolue



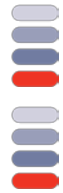
Sections:



- Notre modèle (données mesurées)
- Modèle du scanner (données de référence)
- Coupes (données de référence)
- Coupe (données mesurées)

Déviatiion/Type	Déviatiion moyenne (mm)	Écart type (mm)
signée	-0.086	2.11
absolue	2.06 (1.65%)	1.62

Plan de la présentation



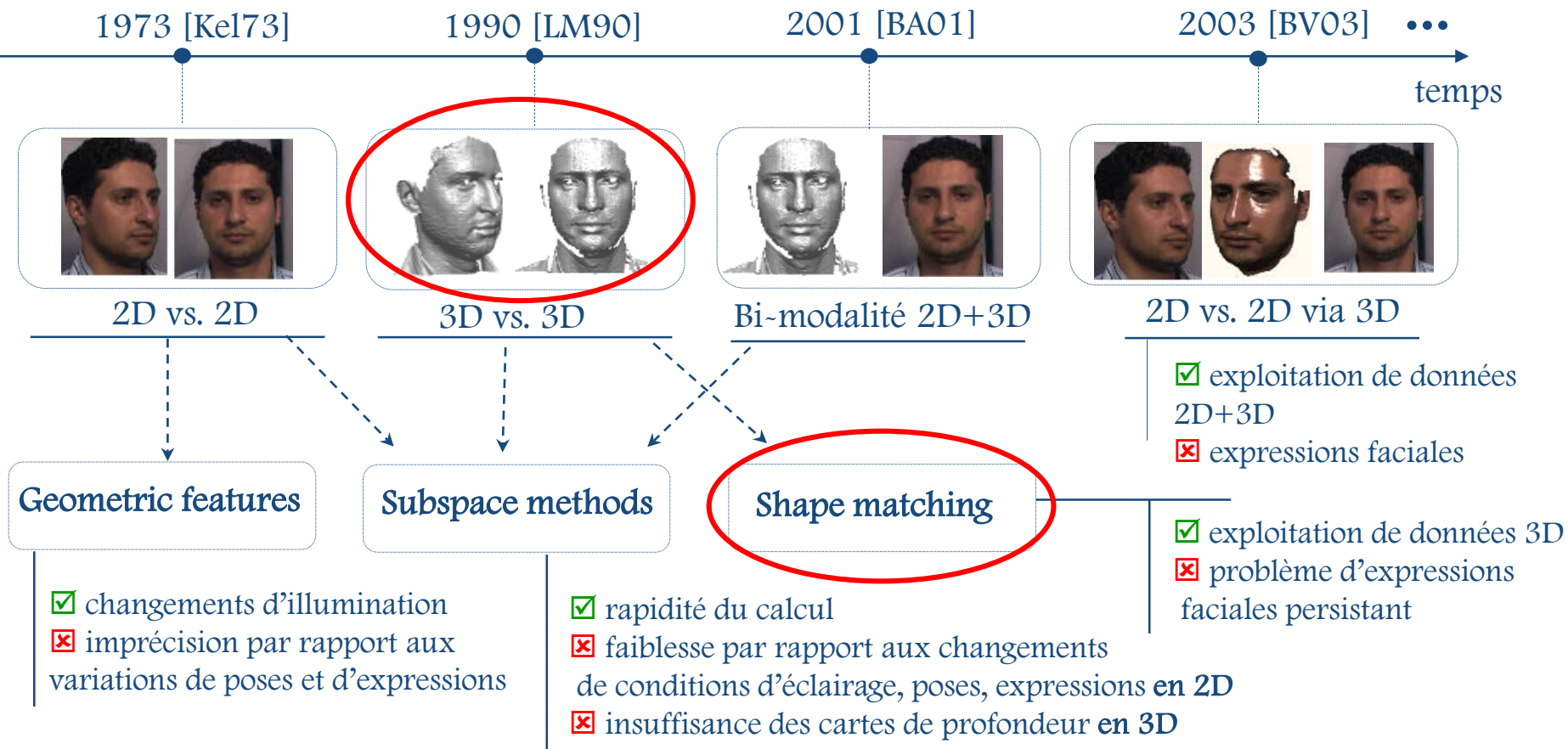
Contexte et problématique

Reconnaissance faciale 3D

- État de l'art de la reconnaissance faciale
- Principe et architecture
 - (1) Approche globale
 - (2) Approche orientée régions
 - (3) Approche géodésique
- Expérimentations et évaluations



État de l'art



N.B. L'axe du temps repère les premières approches développées pour chaque paradigme

→ 3D vs. 3D

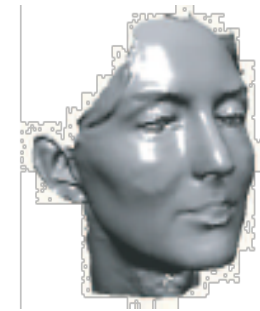


Paradigme 2½D vs. 3D

- abstraction faite sur la texture
 - conditions d'éclairage
- visage 3D complet dans la galerie
- requête vue partielle 3D de visage
 - poses faciales

Méthode de reconnaissance 3D

- approche basée modèles 3D
- comparaison de surfaces faciales 3D
 - prise en compte d'expressions faciales dans les comparaisons

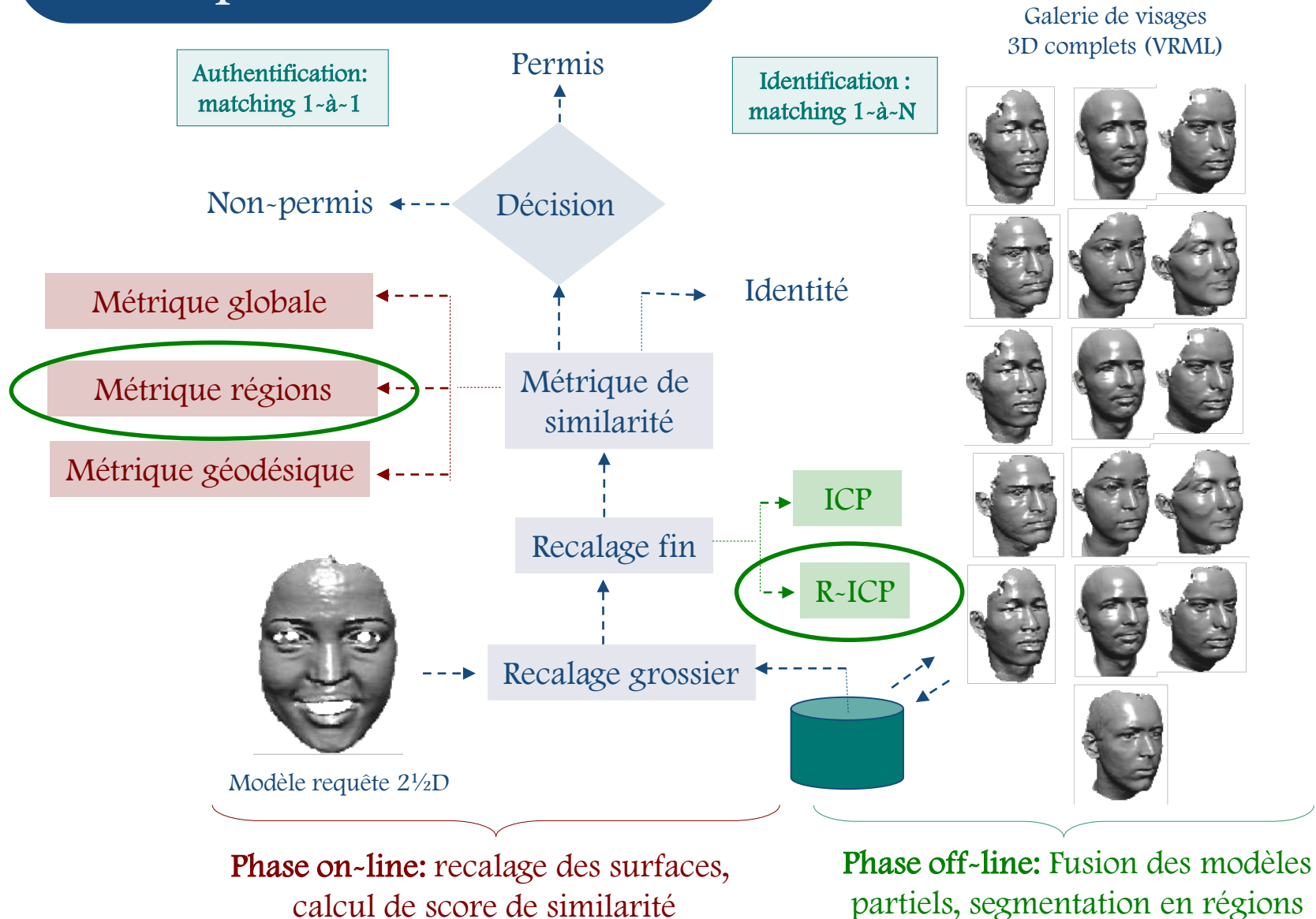


Modèle 3D complet de la galerie



Modèles requêtes 3D incomplet (2½D)

Principe et Architecture



Phase on-line: recalage des surfaces, calcul de score de similarité

Phase off-line: Fusion des modèles partiels, segmentation en régions

Trois approches expérimentées

Approche globale

- recalage par ICP
- métrique globale

Approche orientée régions

- définition d'un schéma de segmentation
- recalage par R-ICP
- métrique orientée régions

Approche géodésique

- recalage par ICP
- métrique géodésique

Plan de la présentation



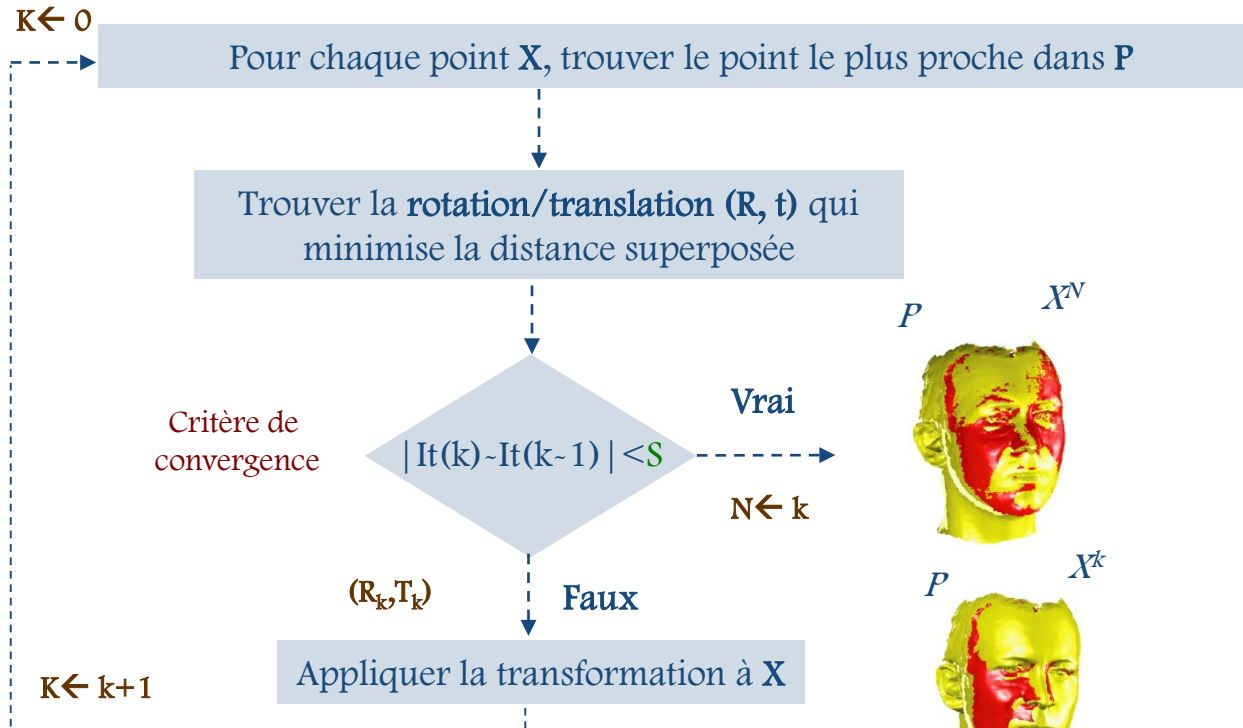
Contexte et problématique

Reconnaissance faciale 3D

- État de l'art de la reconnaissance faciale
- Principe et architecture
 - (1) Approche globale
 - (2) Approche orientée régions
 - (3) Approche géodésique
- Expérimentations et évaluations

Approche globale : ICP (Iterative Closest Point)

Entrées: Modèle $P = \{p_i\}$, test $X = \{y_i\}$, seuil S



Sorties: Rotation R , Translation T , couples (p_i, y_i) points appariés

P. Besl and N. McKay: "A method for registration of 3D-shapes" IEEE trans. Pattern analysis and Machine intelligence, 14(2):239-256, 1992.

Algorithme SVD et estimation de R et T

- ☰ Soit M une matrice $m \times n$ dont les coefficients appartiennent au \mathbb{R} . Alors il existe une factorisation de la forme :

$$E = U \Sigma {}^tV$$

- Avec U une matrice unitaire $m \times m$ sur \mathbb{R} , Σ une matrice $m \times n$ dont les coefficients diagonaux sont des réels positifs ou nuls et tous les autres sont nuls, et tV est la matrice adjointe à V , matrice unitaire $n \times n$ sur \mathbb{R} . On appelle cette factorisation la *décomposition en valeurs singulières* de M .
- La matrice V contient un ensemble de vecteurs de base orthonormés de \mathbb{R}^n , dits « d'entrée » ou « d'analyse » ;
- La matrice U contient un ensemble de vecteurs de base orthonormés de \mathbb{R}^m , dits « de sortie » ;
- La matrice Σ contient les valeurs singulières de la matrice M .

$$A^*A = A A^* = I, A^* \text{ matrice adjointe } A$$

$$A^* = {}^t\bar{A} = \overline{{}^tA}, \bar{A} \text{ matrice conjuguée de } A$$

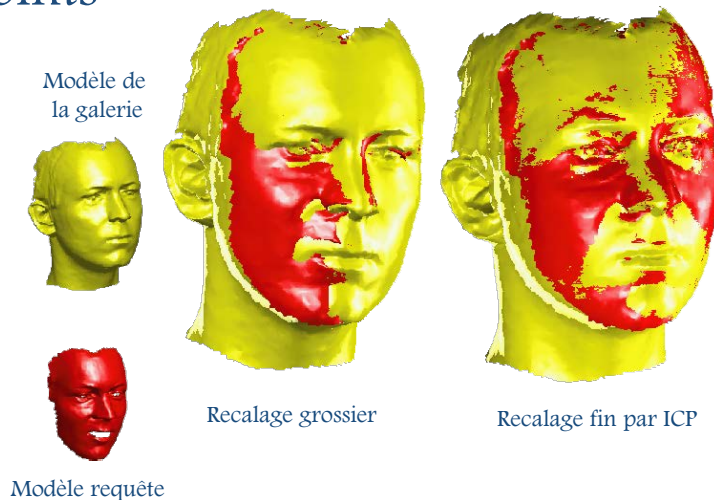
Algorithme SVD et estimation de R et T

- Calculer la matrice de covariance croisée de deux ensembles de points $\{X_i\}$ et $\{X'_i\}$, dans les repères centrés sur les barycentres : $Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y'_i Y_i^t$
- Trouver la décomposition en valeurs singulières de $E = U \Sigma^t V$, où U et V sont des rotations et Σ est diagonale
- Poser $R = U^t V$
- Poser $T = \overline{X'_i} - R \overline{X_i}$

Approche globale : métrique

Métrique de similarité globale

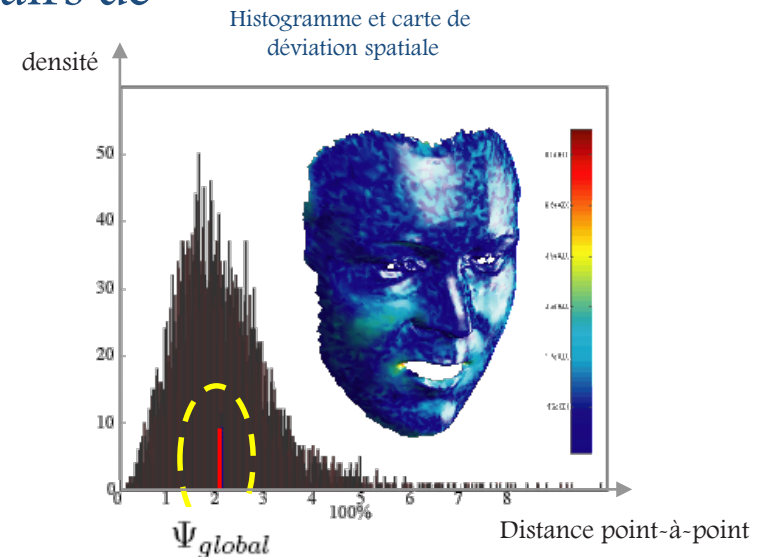
- utilise le résultat de l'appariement par ICP
- calcule la **déviatio**n spatiale point-à-point entre le modèle de la galerie et le modèle requête
- **score de dissimilarité**: moyenne des déviations point-à-point entre les pairs de points



$$\Psi_{global} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \psi_i$$

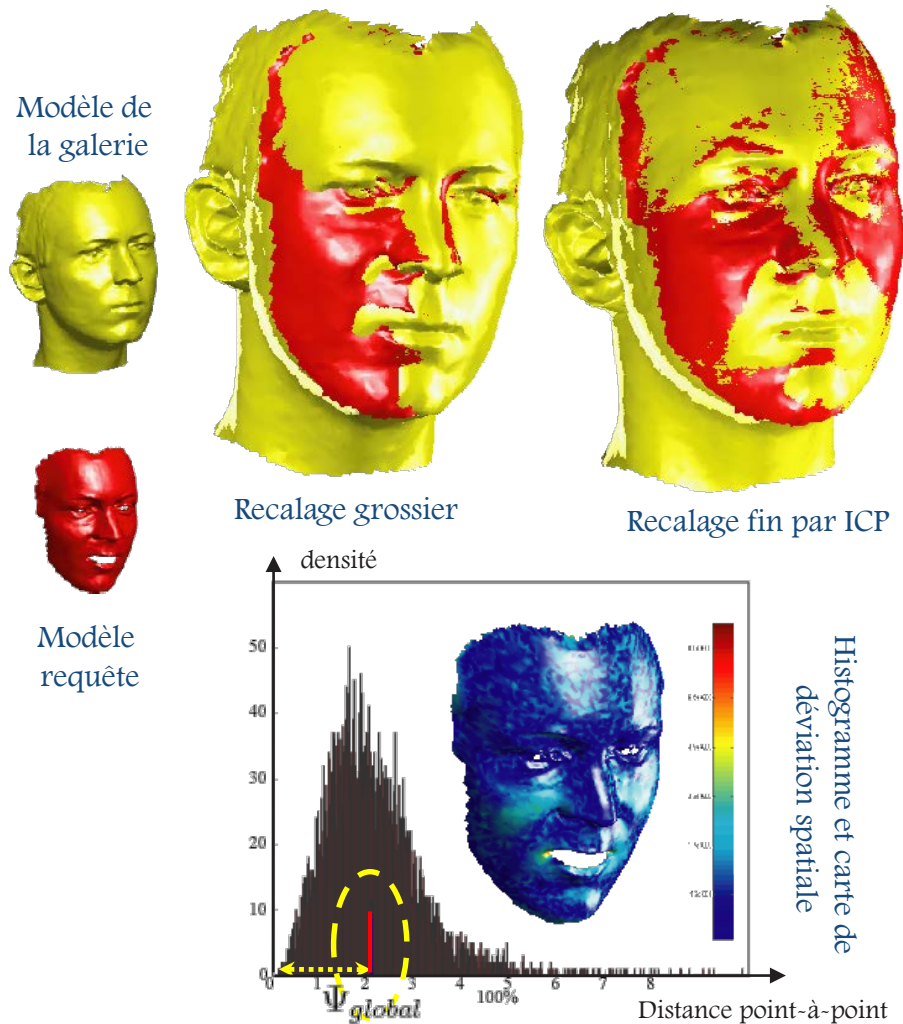
Distance point-à-point

Score global



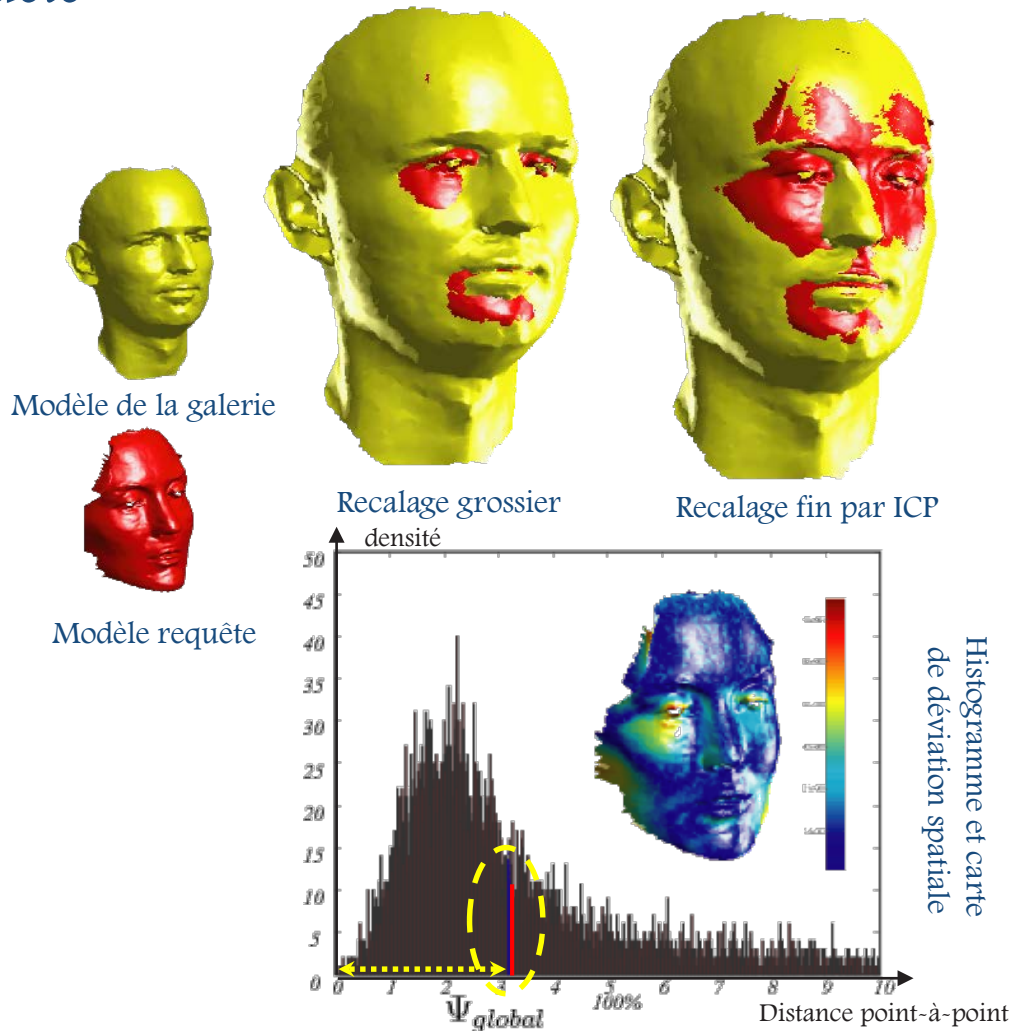
Approche globale : exp. préliminaires

- Exemple 1: images d'un même individu avec une légère expression faciale sur la requête



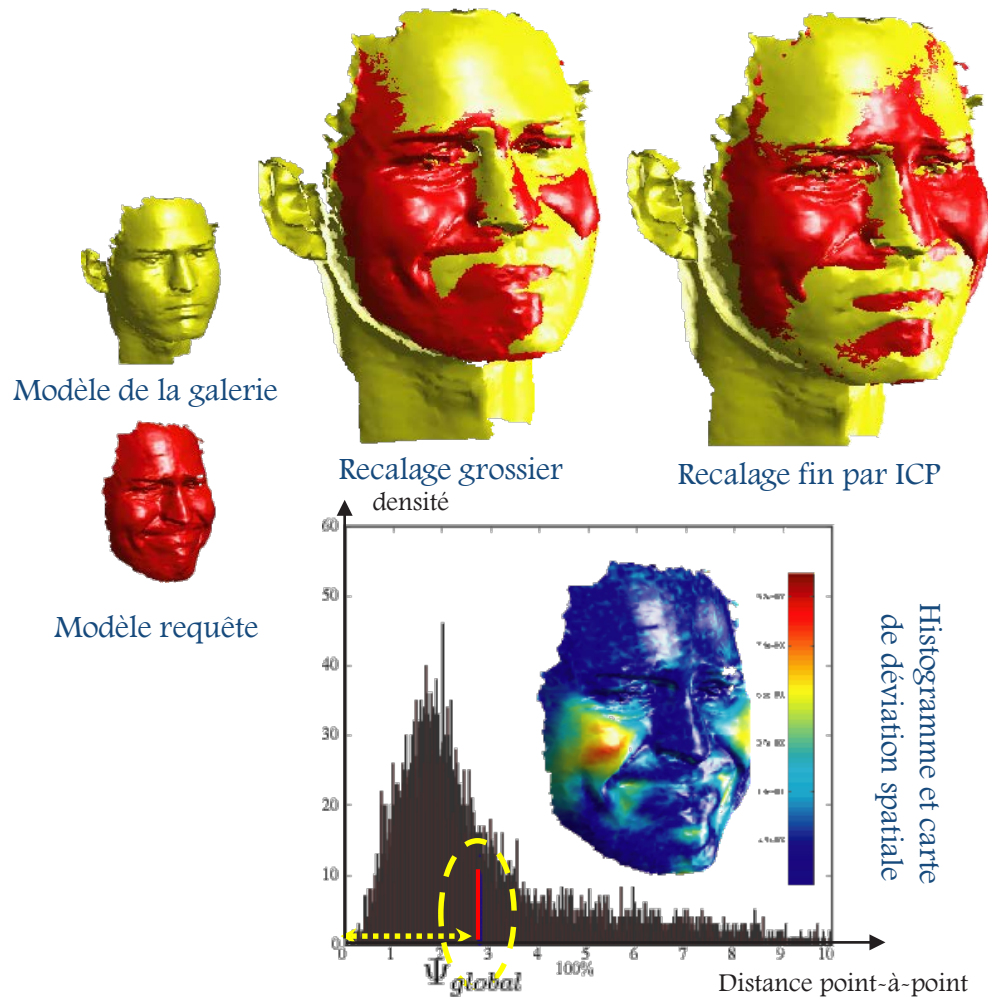
Approche globale : exp. préliminaires

- Exemple 2: images de deux individus avec expression faciale neutre sur la requête



Approche globale : exp. préliminaires

- Exemple 3: images d'un même individu avec une expression faciale importante sur la requête



Approche globale : bilan et améliorations

Bilan

- 👍 invariance par rapport aux changements **de pose** et **d'illumination**
- 👎 moins robuste en présence de changements importants **d'expressions faciales**
 - ➔ ICP modélise uniquement les transformations rigides (R,t)
 - Convergence vers une solution non pertinente
 - ➔ la métrique globale attribue le même poids aux points du visages

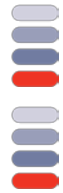
Constat

- les régions du visage ne subissent pas les mêmes intensités de déformation
 - régions mimiques
 - régions non mimiques

Avantages

- recalage fin basé sur les régions non mimiques
- calcul de la mesure de similarité en donnant plus de poids aux régions non mimiques.

Plan de la présentation



Contexte et problématique

Reconnaissance faciale 3D

- État de l'art de la reconnaissance faciale
- Principe et architecture
 - (1) Approche globale
 - (2) Approche orientée régions
 - (3) Approche géodésique
- Expérimentations et évaluations



Étude anatomique du visage

Structure musculaire du visage

- maillage complexe
- ~11 muscles importants
- +2 muscles masticateurs responsables du mouvement de la mandibule

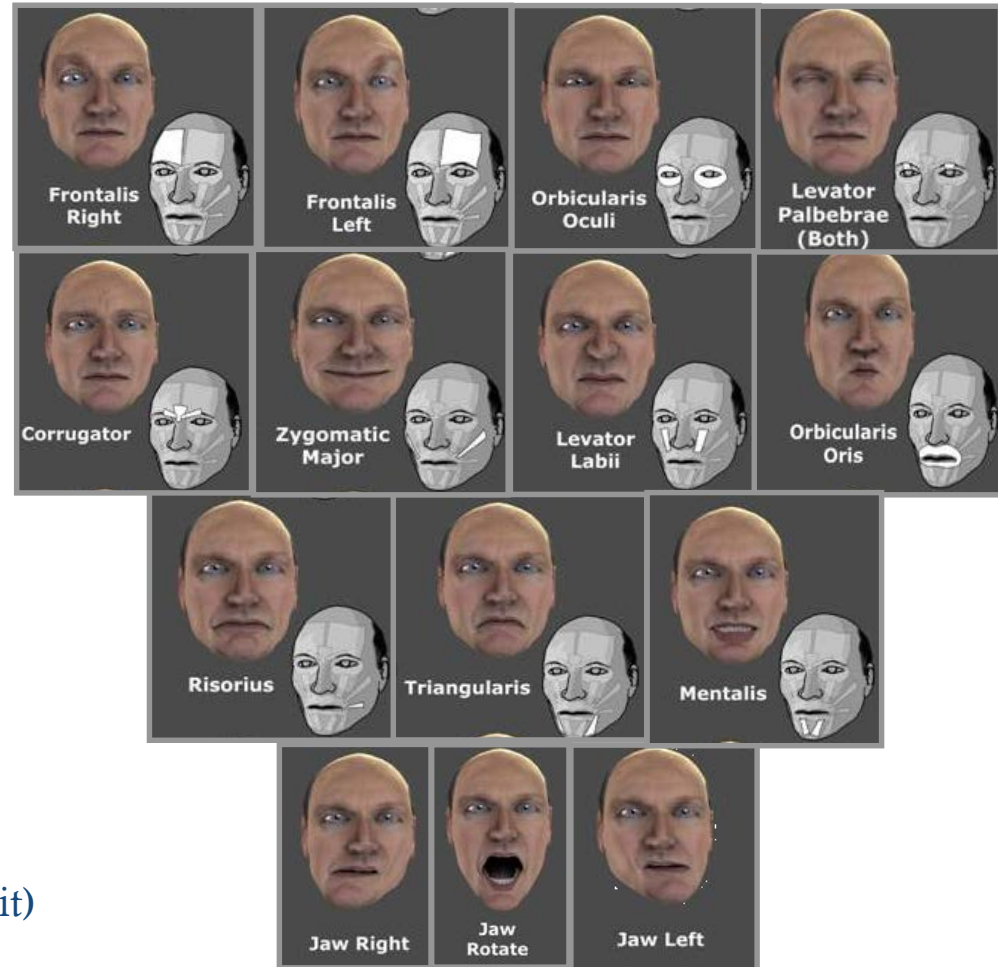
Modèle d'Animation faciale graphique

$$\vec{s} = \vec{s}_0 + \sum_{i=1}^{Nm} c_i \vec{e}_i$$

\vec{s}_0 : État neutre du visage

\vec{e}_i : Déformation élémentaire (Action unit)

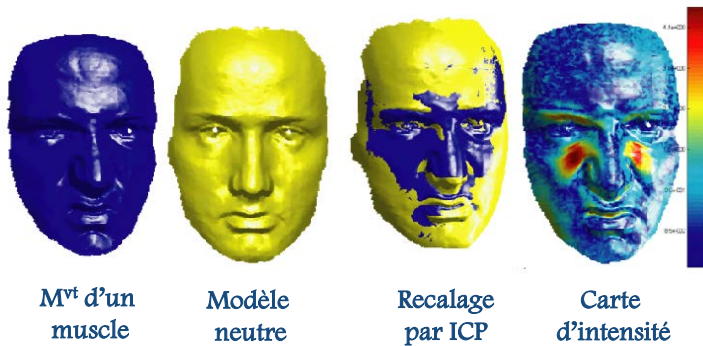
c_i : Paramètres de pondérations



Étude anatomique du visage

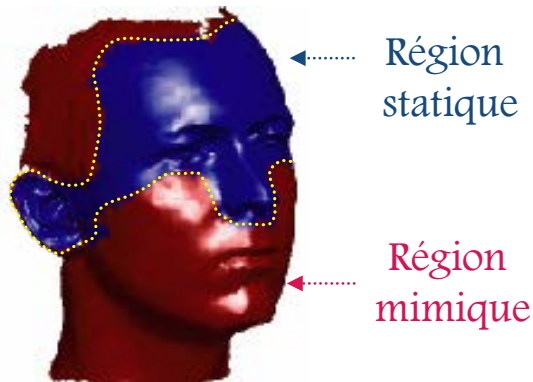
Étude empirique

- Sur un échantillon d'individus (5 hommes et 2 femmes)

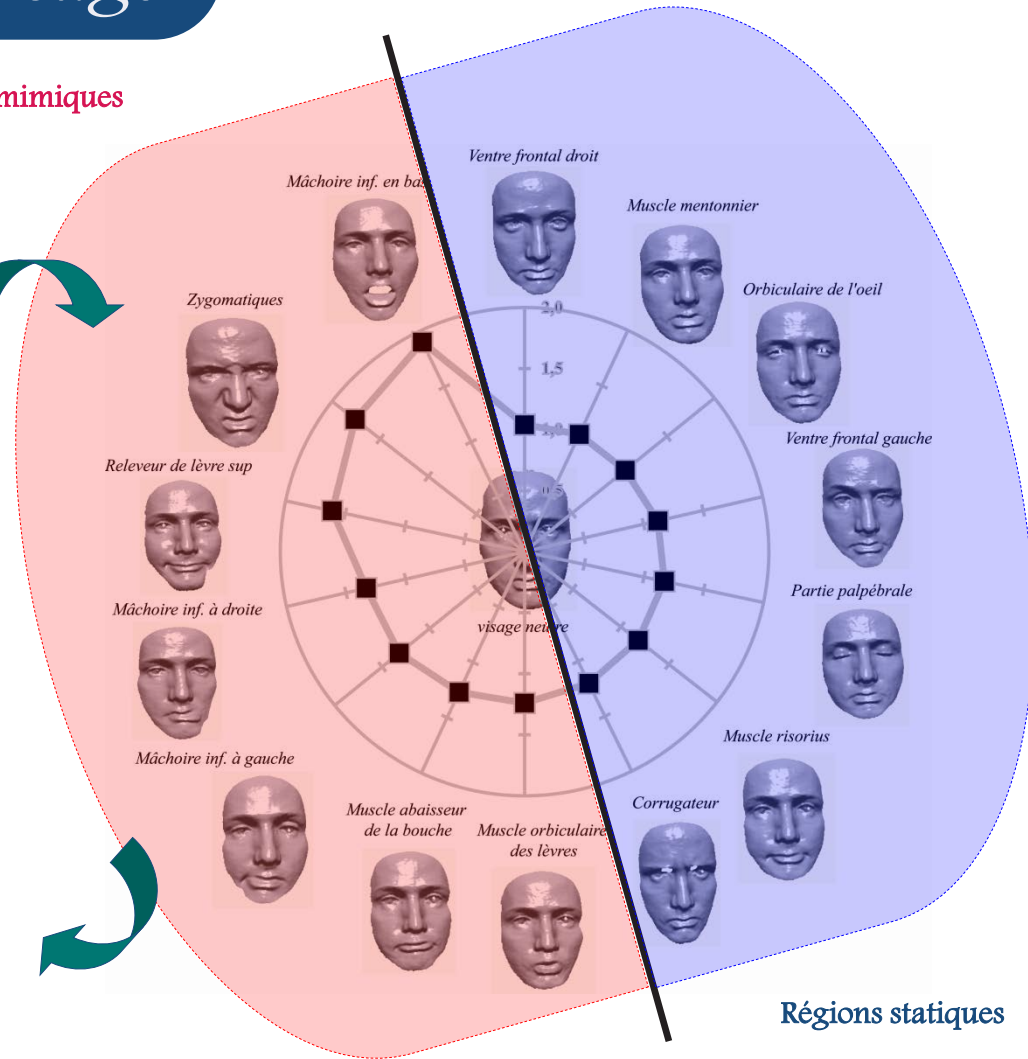


Mesure de l'influence de chaque muscle

- Résultat



Régions mimiques



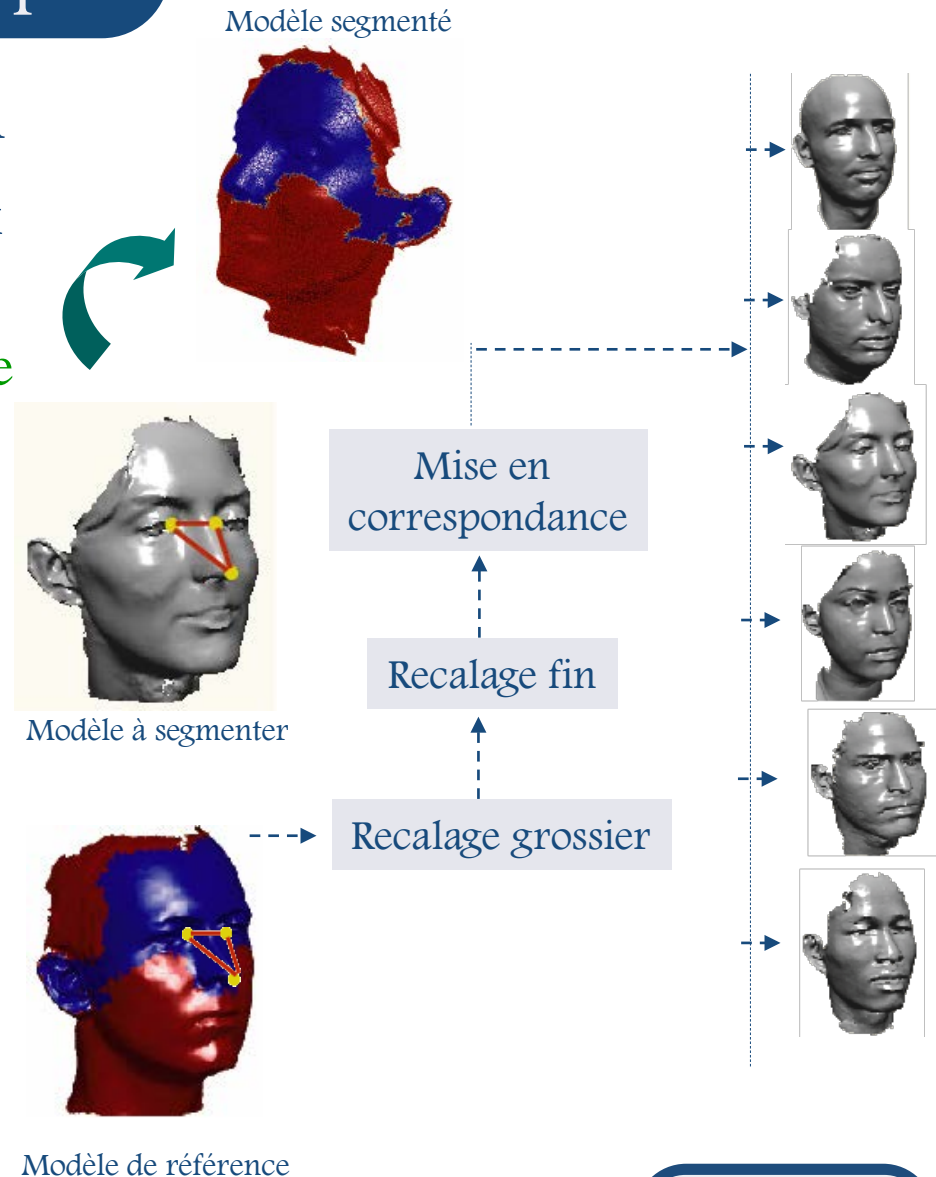
Classement des muscles selon l'intensité de déformation de la surface faciale

Régions statiques

Segmentation automatique

Procédure de segmentation

- Appliquée uniquement aux visages de la galerie
- Phase off-line du paradigme de reconnaissance
- Recalage grossier des surfaces puis fin par R-ICP
- ➔ Ensembles de points appariés sur le visage de référence et le visage de la galerie
- Intégration dans la base de visages 3D



Approche orientée régions : principe

Recalage

- recalage sur les régions statiques
- pondération binaire

Métrique de similarité pondérée

- + poids pour la région statique
- ~ poids pour la région mimique
- $0 < \alpha < 1$ pour les points de la région mimique

Schéma de segmentation unifié



$$e_{R-ICP}(R, t) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N w_i \| (Rp_i + t) - y_i \|^2$$

Avec:

$$w_i = \begin{cases} 1 & \text{si } p_i \in R_s \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$\Psi = \sum_{i=0}^N \alpha_i \Psi_i$$

Score global

en particulier pour deux régions :

$$\Psi = \alpha \cdot \Psi_m + 1 \cdot \Psi_s$$

Score global

Score de la partie statique

Score de la partie mimique

Approche orientée régions : résultats



Modèle complet 3D



Modèle requête 2 1/2D

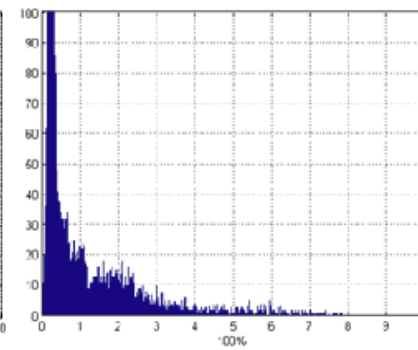
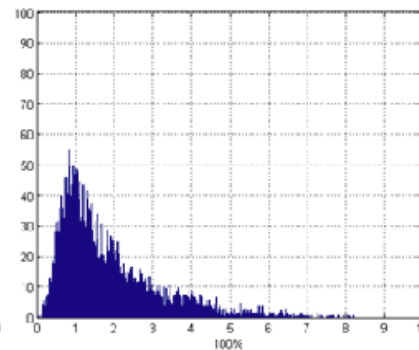
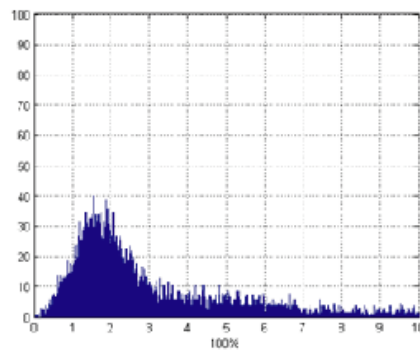
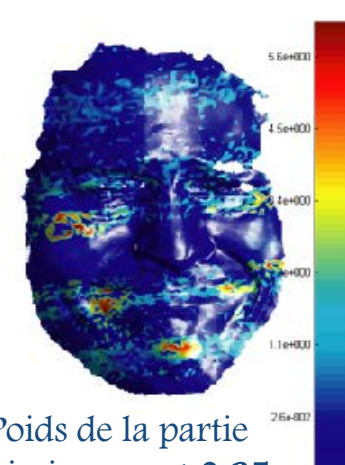
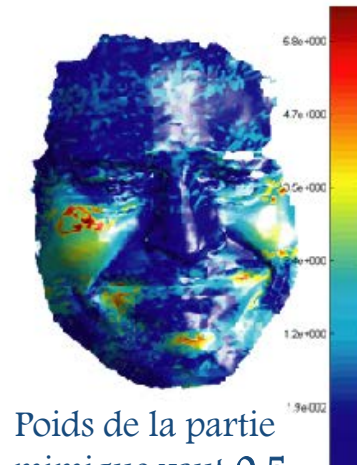
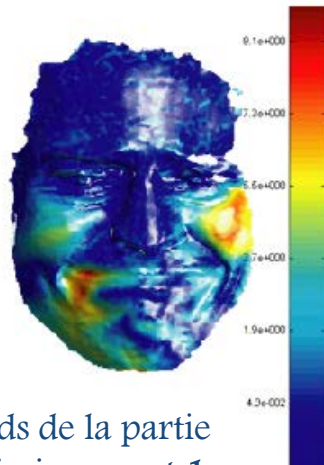


Recalage grossier



Recalage fin par R-ICP

Cartes de déviations spatiales avec pondération statique/mimique



Histogrammes des déviations point-à-point

Plan de la présentation



Contexte et problématique

Reconnaissance faciale 3D

- État de l'art de la reconnaissance faciale
- Principe et architecture
 - (1) Approche globale
 - (2) Approche orientée régions
 - (3) Approche géodésique
- Expérimentations et évaluations

Approche géodésique : principe

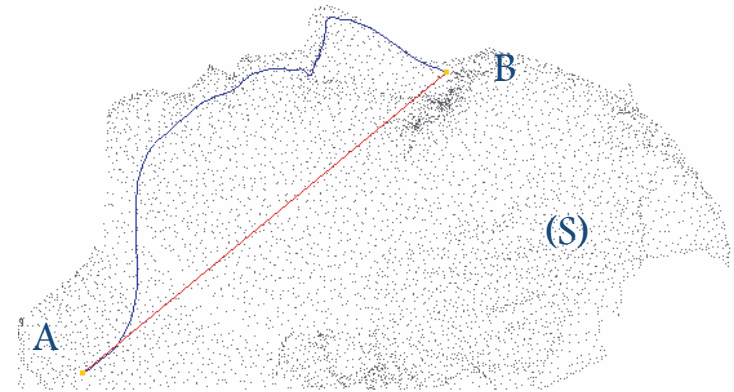
Hypothèse proposée dans [BBK05]

- Les géodésiques sont invariantes aux expressions faciales: **le visage 3D est surface isométrique**

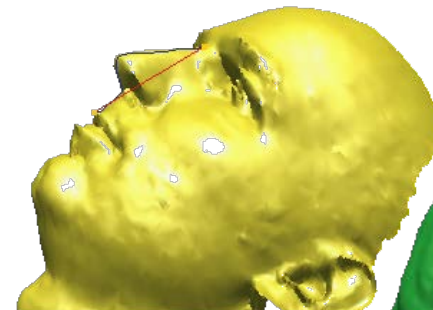
Définition (géodésique): le plus court chemin entre deux points A et B de la surface (S)

Notre variante

- ① recalage rigide par ICP
- ② calcul géodésique après recalage de surfaces faciales
 - ➔ algorithme *Fast Marching* pour le calcul numériques des géodésiques
- ③ Comparaison des cartes géodésiques correspondantes



Géodésique entre deux points



Modèle 3D (neutre)



Modèle 2½D (dégout)

Considérations

■ Périimètre de calcul géodésique

- problème d'ouverture de la bouche

■ Distances géodésiques

- calcul de distance géodésique en partant d'un foyer propagations (S)
- limite du calcul: point limite (L)

■ Cartes géodésiques

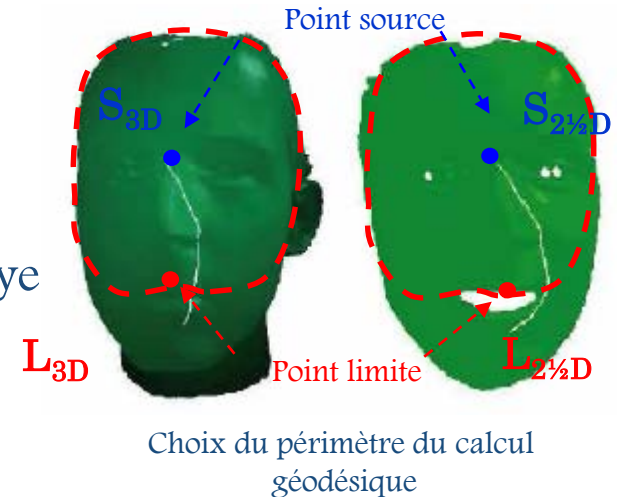
- tenir compte de l'ordre de mise en correspondance des points 3D sur les surfaces appariées

■ Mesure de dissimilarité entre les visages

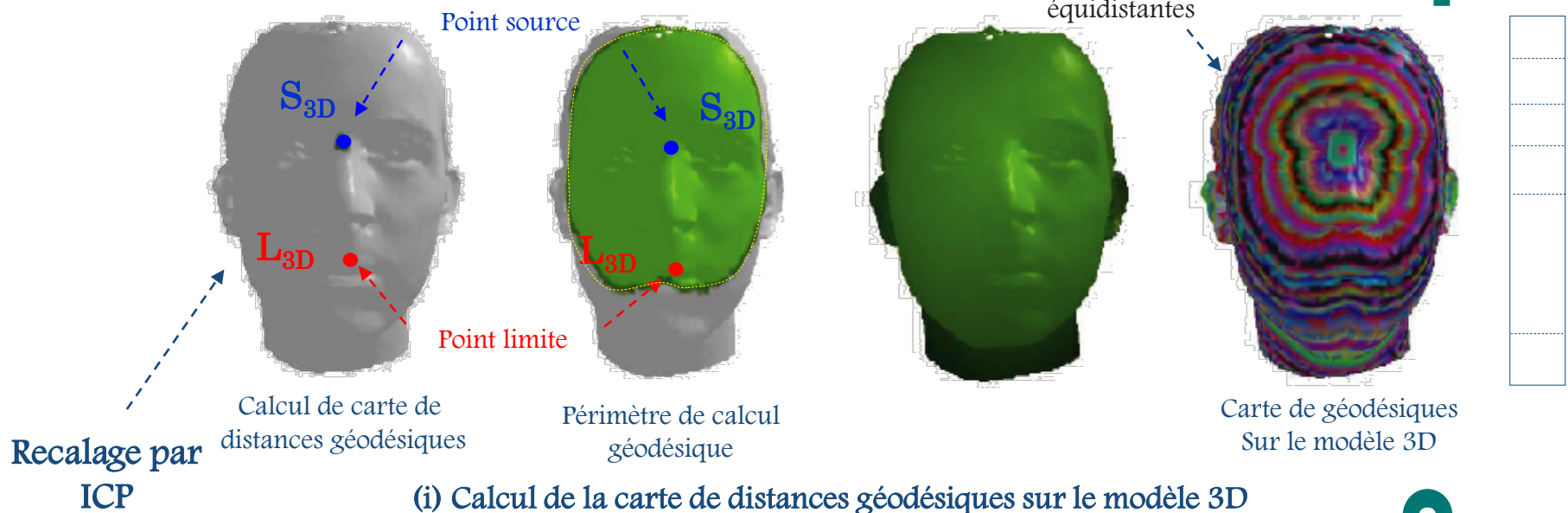
- distance entre les cartes géodésiques

■ Influence de l'algorithme d'appariement

- distances géodésiques correspondantes



Approche géodésique : notre variante



Plan de la présentation



Contexte et problématique

Reconnaissance faciale 3D

- État de l'art de la reconnaissance faciale
- Principe et architecture
- Approche globale
- Approche orientée régions
- Approche géodésique
- Expérimentations et évaluations

Expérimentations et évaluation

Nouvelle base de visage 3D ECL-IV²

- ~50 sujets
- 1 Modèle 3D complet par sujet avec expressions neutres
- 8 Modèles 2½D avec variations:
 - 3 poses
 - **5 expressions**
 - 2 conditions d'éclairage

Collectée au sein du workshop résidentiel BioSecure 2005 et du projet national IV² (en cours de développement)



1 Modèle 3D de la galerie par sujet



(A) Pose: (l) gauche, (f) frontal et (r) droite



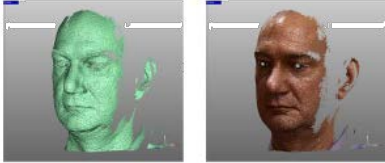

(B) Expressions: (f) neutre, (y) yeux fermés, (s) surprise, (d) dégoût et (h) bonheur



(C) éclairage: (i) non-contrôlé, (f) contrôlé

8 Modèle 2½ D de Test par sujet

Comparaison ECL-IV² et FRGC

Données 3D	FRGC DB 	ECL-IV2 
Modèle 3D complet	Non disponible	disponible
Multi-poses	Non (1 pose)	3 poses
Illumination	1 Contrôlée	Contrôlée/non-contrôlée
Expressions	2 expressions	5 expressions
2D et 3D	disponibles	disponibles
prétraitement	Non	Oui
taille	4007 scans (466 sujets)	400 scans (50 sujets)
Acquisition	VIVID 910 (640*480)	VIVID 300 (400*400)

Protocoles d'évaluation

Scénarios de test et critères d'évaluation

● identification

- RR: Rank-one recognition rate

● authentification

- courbes DET
- EER: Equal Error Rate

Conditions d'expérimentation

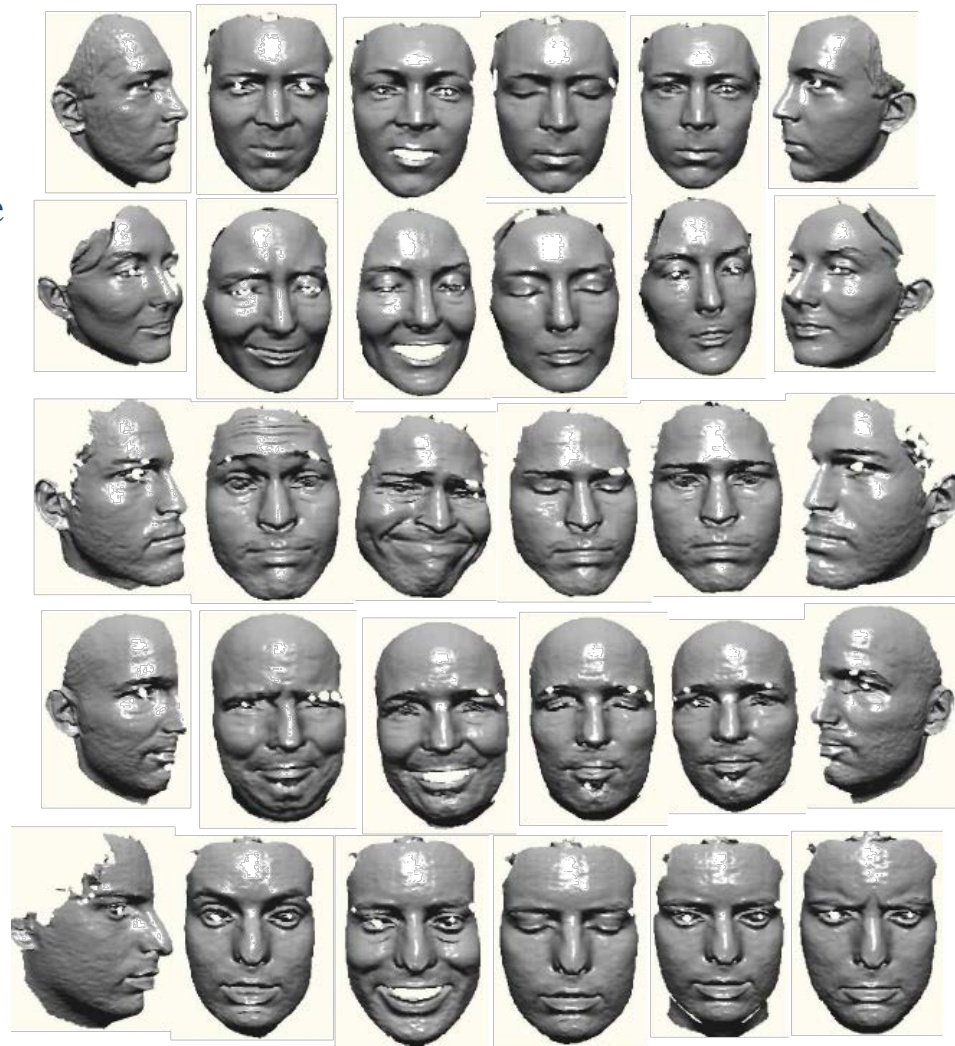
● globale

- toutes les images de test
 - (all)

● élémentaires

- poses:
 - (f), (l) et (r)
- éclairages:
 - (f) et (i)
- expressions:
 - (d), (e), (h), (s) et (f)

Aperçu de la base ECL-IV2

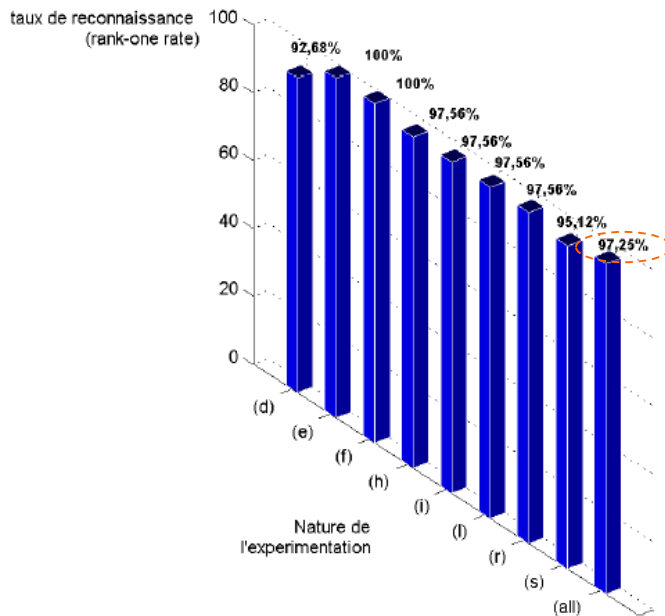


Résultats de l'approche globale

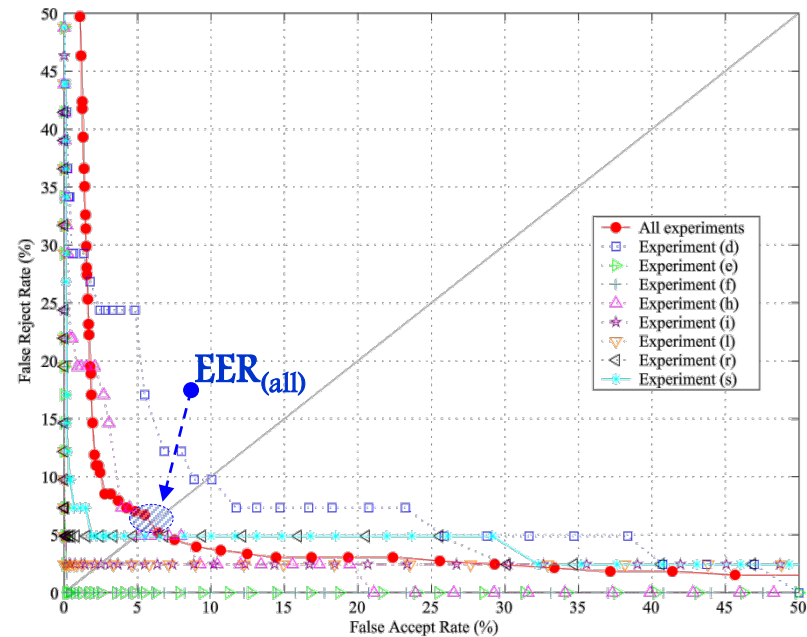
ICP (Iterative Closest Point) + métrique globale

● Taux de reconnaissance global: $RR_{(all)} = 97.25\%$

● Equal Error Rate: $EER_{(all)} = 6.5\%$



Taux de reconnaissance (rank-one recognition rate)
pour toutes les expérimentations



Courbes DET (error-trade off) pour toutes les
expérimentations

↳ Invariance par rapport aux problèmes de pose et d'éclairage, mais sensible aux expressions faciales (déformations 3D)

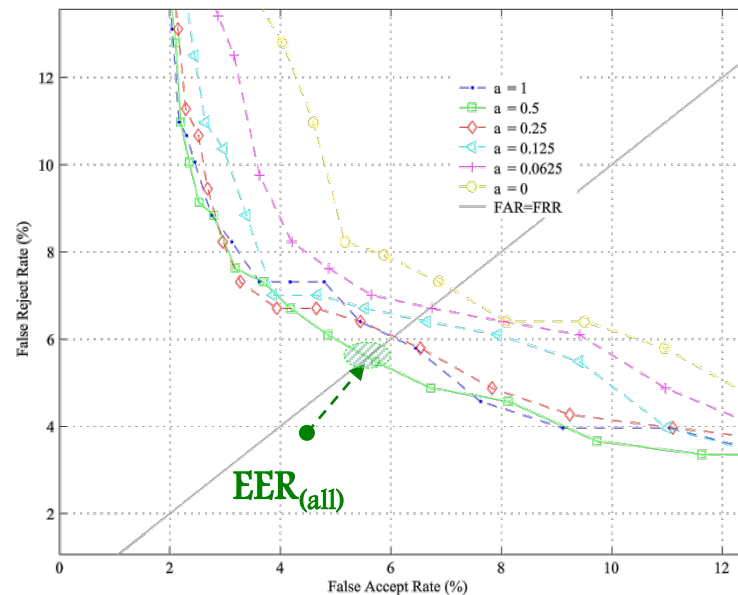
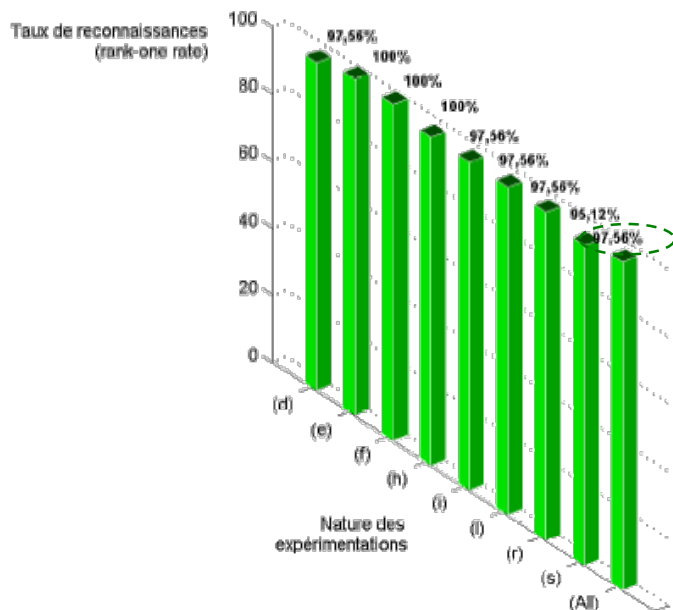
Résultats de l'approche orientée régions

R-ICP (Iterative Closest Point)+métrique orientée régions

● Taux de reconnaissance global: $RR_{opt(all)} = 97.56\%$

● EER (Equal Error Rate): $ERR_{opt(all)} = 5.5\%$

Paramètre α ?



Taux de reconnaissance (rank-one recognition rate) pour
Toutes les expérimentations

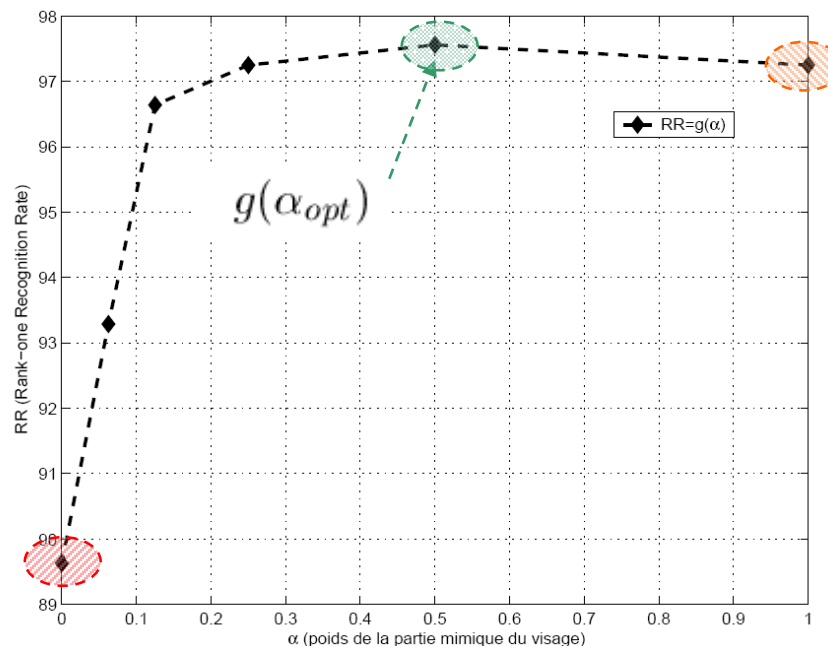
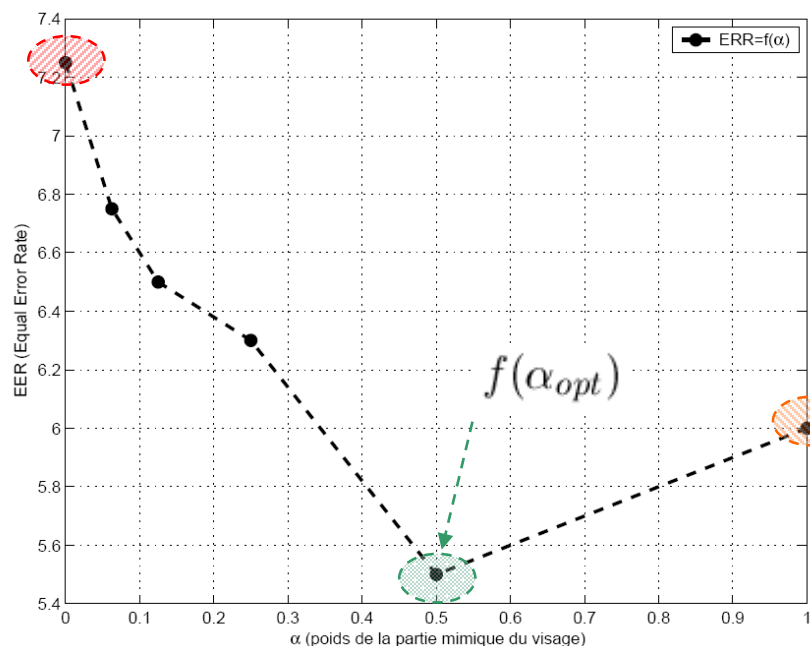
Courbes DET (Detection error-trade off) en variant le poids de la
partie mimique

→ Invariance par rapport aux problèmes de pose et d'éclairage, et plus
d'invariance aux expressions faciales 3D

Évaluation : Approche orientée régions

Choix du poids de la partie mimique du visage

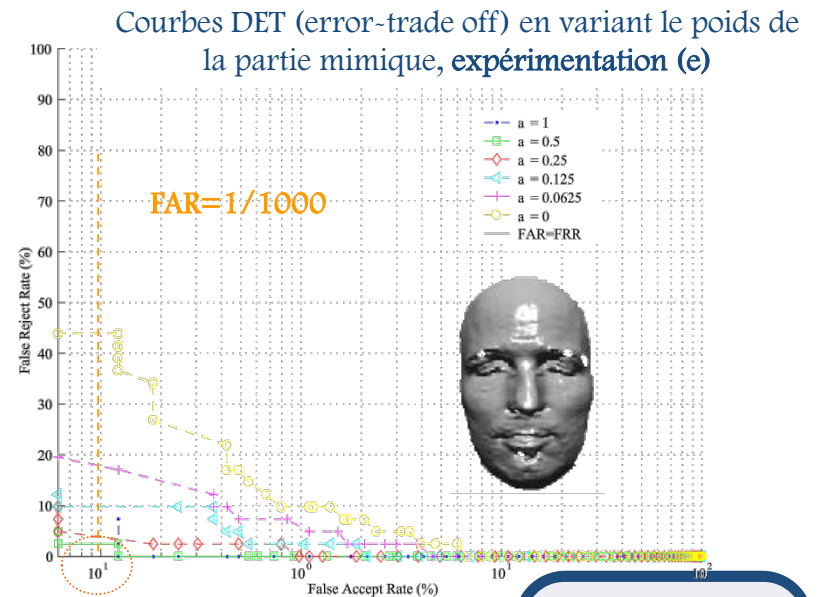
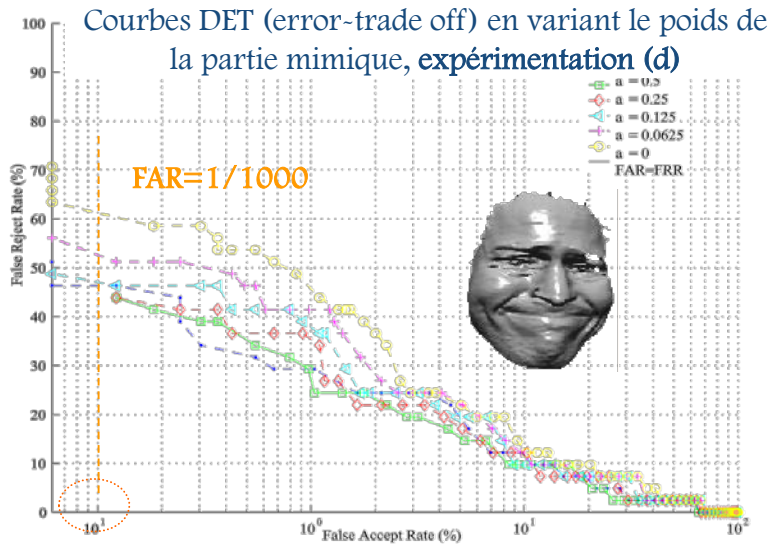
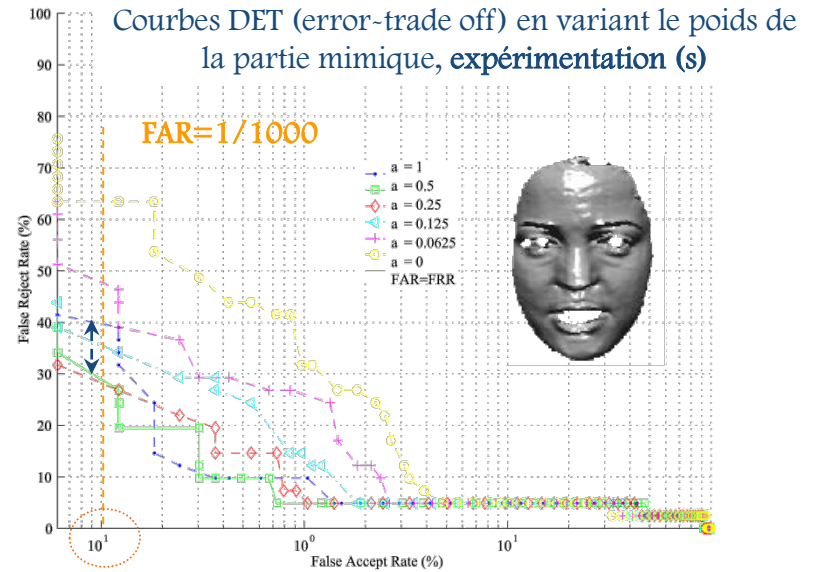
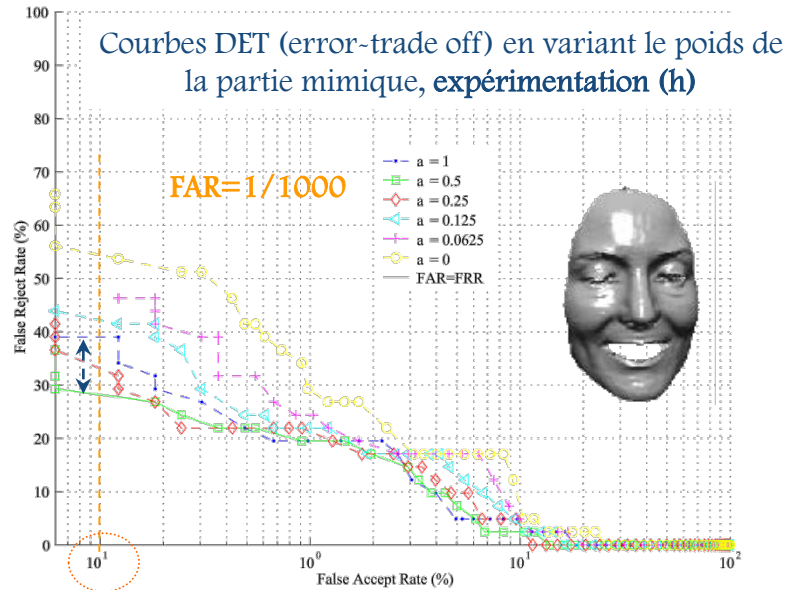
● courbes $ERR = f(\alpha)$ et $RR = g(\alpha)$ pour des valeurs discrètes de α



La valeur optimale de α est $\alpha_{opt} = 0.5$.

Insuffisance de la partie statique (le cas où $\alpha = 0$)

Apport du recalage par R-ICP (le cas où $\alpha = 1$)

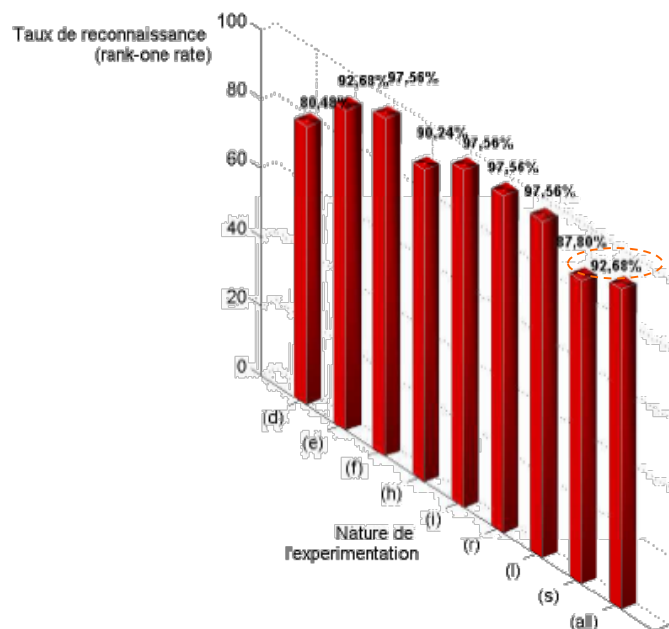


Résultats de l'approche géodésique

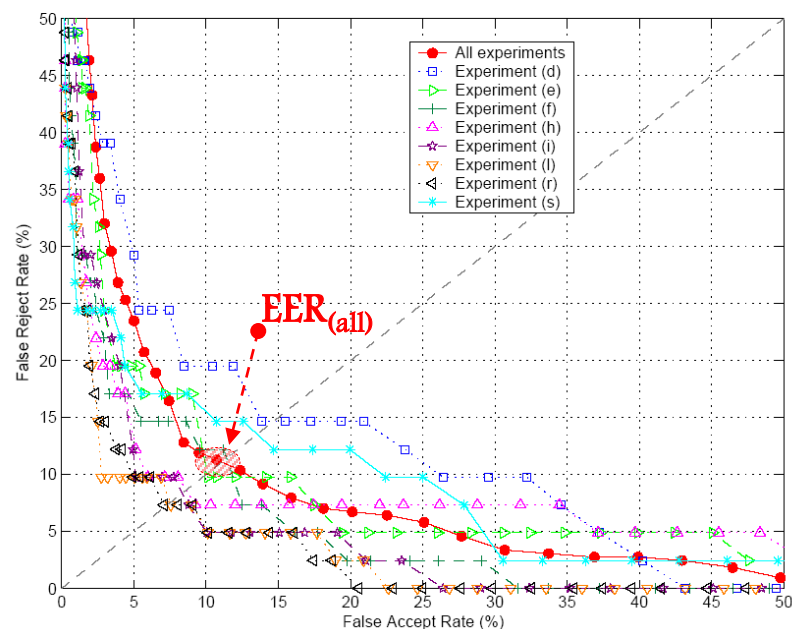
ICP (Iterative Closest Point) + métrique géodésique

● Taux de reconnaissance global: $RR_{(all)} = 92.28\%$

● EER (Equal Error Rate): $ERR_{(all)} = 12\%$



Taux de reconnaissance (rank-one recognition rate) pour
Toutes les expérimentations



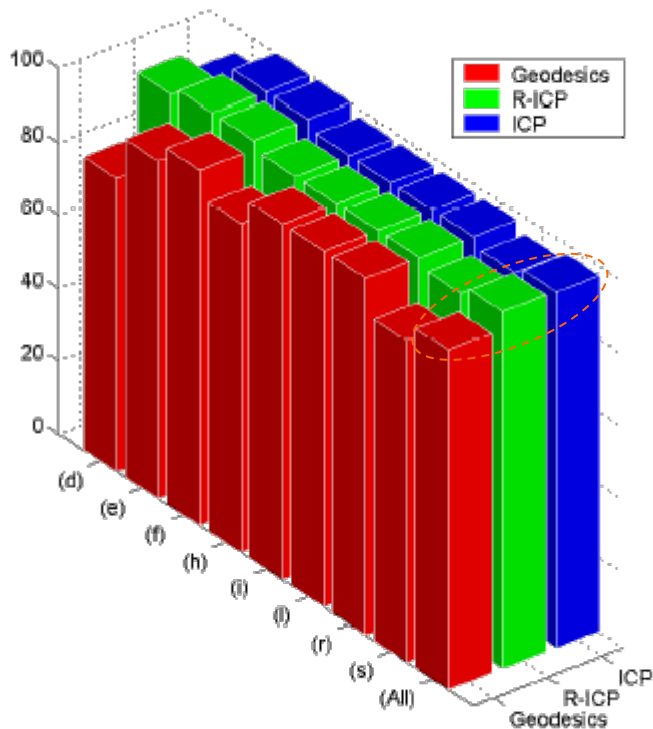
Courbes DET (error-trade off) pour toutes les
expérimentations

↪ Invariance par rapport aux problèmes de pose et changements
d'éclairage, mais sensible aux expressions faciales 3D

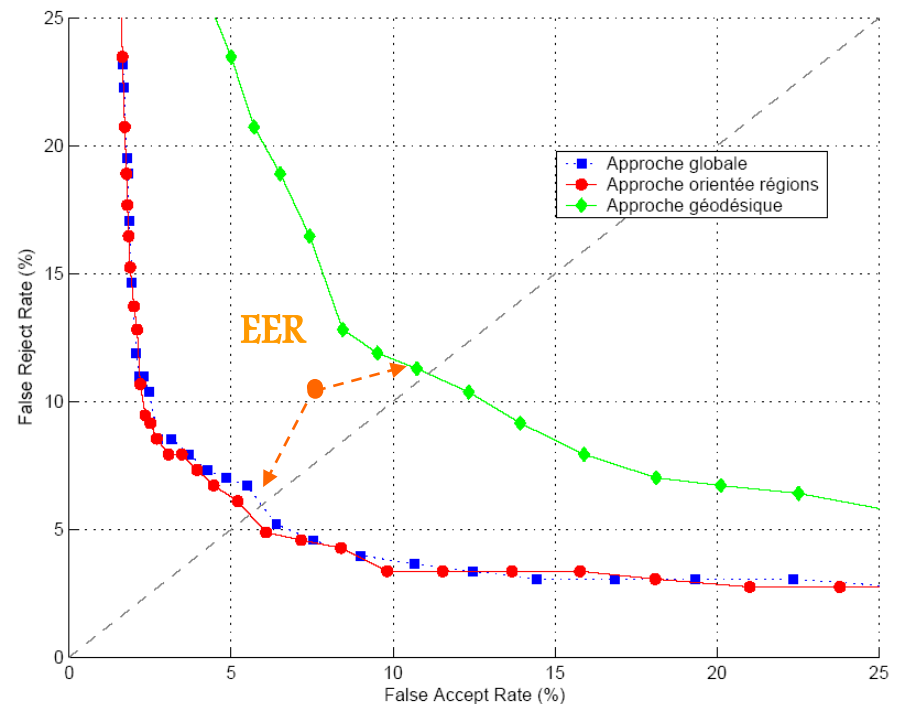
Synthèse et discussion

Approche globale/approche régions/approche géodésique

- Taux de reconnaissance respectifs: **97.25%**, **97.56%** et **92.68%**.
- EER respectifs **6%**, **5.5%** et **12%**.

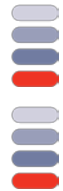


Taux de reconnaissance (rank-one recognition rate) pour les trois approches de reconnaissance



Courbes DET (Error trade-off) pour les trois approches

Plan de la présentation



Contexte et problématique



Reconnaissance faciale 3D

- État de l'art de la reconnaissance faciale
- Principe et architecture
- Approche globale
- Approche orientée régions
- Approche géodésique
- Expérimentations et évaluations



A vos questions

• Revue

(1) **B. Ben Amor**, M. Ardabilian, L. Chen, 'a new 2.5D and 3D human face reconstruction approach for recognition', sélectionné par la conférence SITIS'05 pour publication dans le *journal des sciences pour l'ingénieurs (JSPI)*, 2006. (en cours d'édition)

• Conférences internationales

(2) **B. Ben Amor**, M. Ardabilian, L. Chen, 'New Experiments on ICP-Based 3D Face Recognition and Authentication', *International Conference on Pattern Recognition, ICPR 2006*. (publié)

(3) **B. Ben Amor**, M. Ardabilian, L. Chen, 'An Improved 3D Human Face Reconstruction Approach Based on Cubic Splines Models', *Third International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission, 3DPVT 2006*. (publié)

(4) **B. Ben Amor**, M. Ardabilian, L. Chen, 'Enhancing 3D Face Recognition By Mimics Segmentation', *Sixth International Conference on Intelligent System Design and Applications, ISDA 2006*. (publié)

(5) **B. Ben Amor**, M. Ardabilian, L. Chen, '3D Face Modelling Based on Structured-light Assisted Stereo Sensor', *International Conference on Image Analysis and Processing (ICIAP 2005)*, Cagliari (Italy), 6-8 September 2005, LNCS 3617, pp 842-849. (publié)

(6) **B. Ben Amor**, K. Ouji, M. Ardabilian, L. Chen, '3D Face recognition by ICP-based shape matching', *IEEE International Conference on Machine Intelligence (ICMI 2005)*, Tozeur (Tunisie), 5-7 Novembre 2005. (publié)

(7) **B. Ben Amor**, M. Ardabilian, L. Chen, 'efficient and accurate 2.5D and 3D face photography for recognition', *SITIS 2005*, November 27th - December 2nd 2005, Yaoundé, Cameroon. (publié)

• Conférence nationale

(8) **B. Ben Amor**, M. Ardabilian, L. Chen, 'Acquisition 3D de visages par vision active : une solution de bout en bout', *CORESA 2005*, Renne (France), 7-8 Novembre 2005. (publié)