



**Journée « Imagerie numérique, patrimoine et accessibilité »
Caen, 2 juin 2022**

Dispositifs pour l'accessibilité des PPIV aux objets d'art: Un état de l'art

Lilia Djoussouf

Sommaire

- I. Méthodes classiques d'accessibilité proposées par les musées
- II. Accessibilité aux objets d'art : projets TIC (récents et en cours)
- III. Techniques de segmentation d'images pour une génération automatique de représentation tactiles.
- IV. Conclusion.



1. Méthodes classiques proposées aux musées

Représentations proposées

- a) Livrets brailles et gros caractères
- b) Reproductions tactiles 2.5D (relief), 3D (maquette)

Supports pour interactivité

- a) Visites guidées : AD / Tactile
- b) Ateliers pratiques artistiques

Musée Fabre et MBA de Rouen

– « *L'Art et la matière, prière de toucher* »¹



Musée MET

- « *Seeing Through Drawing* »²



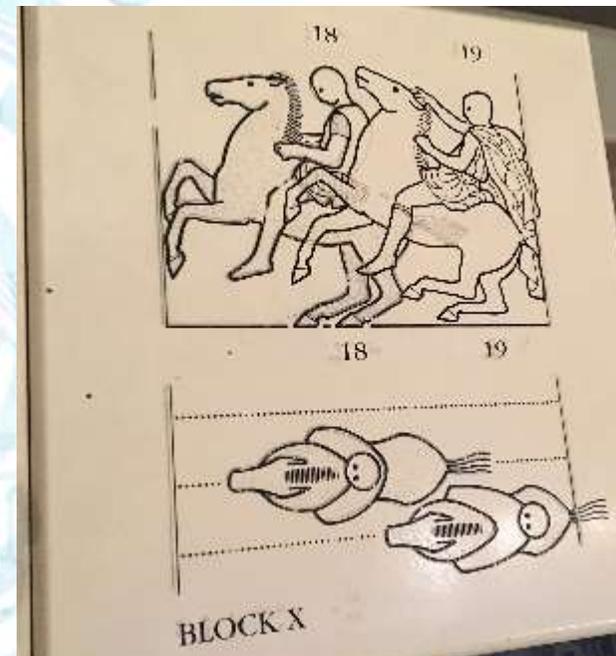
¹ <https://mbarouen.fr/fr/expositions/l-art-et-la-matiere-priere-de-toucher>, dernier accès 18.05.22

² <https://www.metmuseum.org/events/programs/met-creates/visitors-disabilities/seeing-through-drawing>, dernier accès 31.05.2022

British Museum

« Extrait d'une scène du Panthéon »³,

Deux projections : fronto-parallèle et orthographique (représentations thermogonflées)

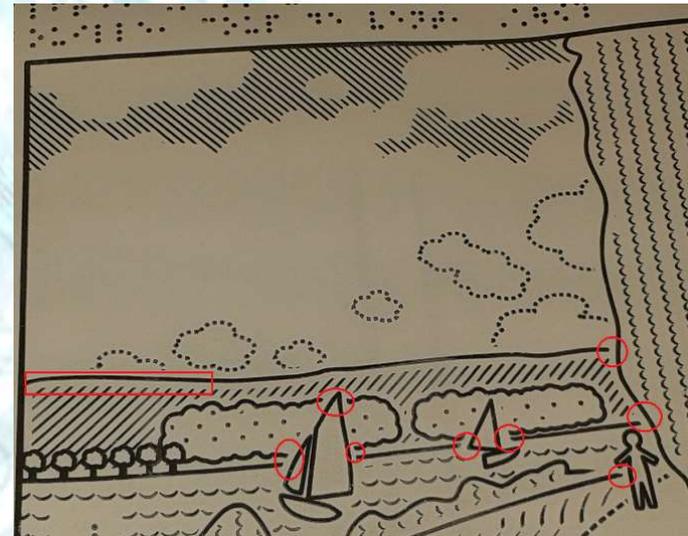


MBA de Rouen

Alfred Sisley, La « Seine à la bouille, coup de vent »



Représentation thermogonflée



Espaces de confort

MBA de Rouen

La barque pendant l'inondation à Port-Marly, d'Alfred Sisley

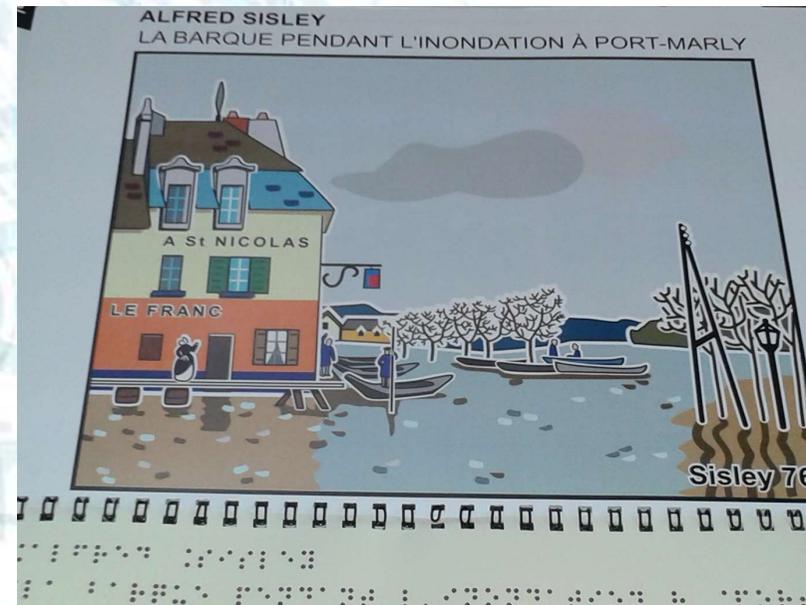
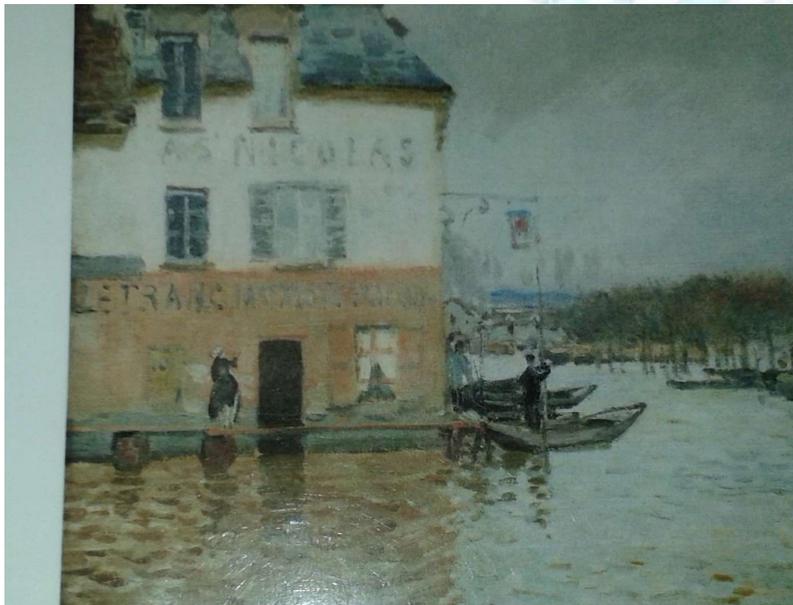


Image thermoformée
Simplification (formes, paysage, arbre)
Elements-clés de différents plans mis en exergue.

MBA de Rouen

La Vierge entre les Vierges, de Gérard David



Reproduction avec des tissus de différentes textures
Simplification (formes, visage)
Personnes-clés de différents plans mis en exergue.

Musée Quai Branly (Paris)

Inuit, Ile de Baffin, Canada

La Rivière



La maison forteresse



Pinacothèque de Brera, Milan (Italie) et Université de Pavie

- La bataille de Pavie

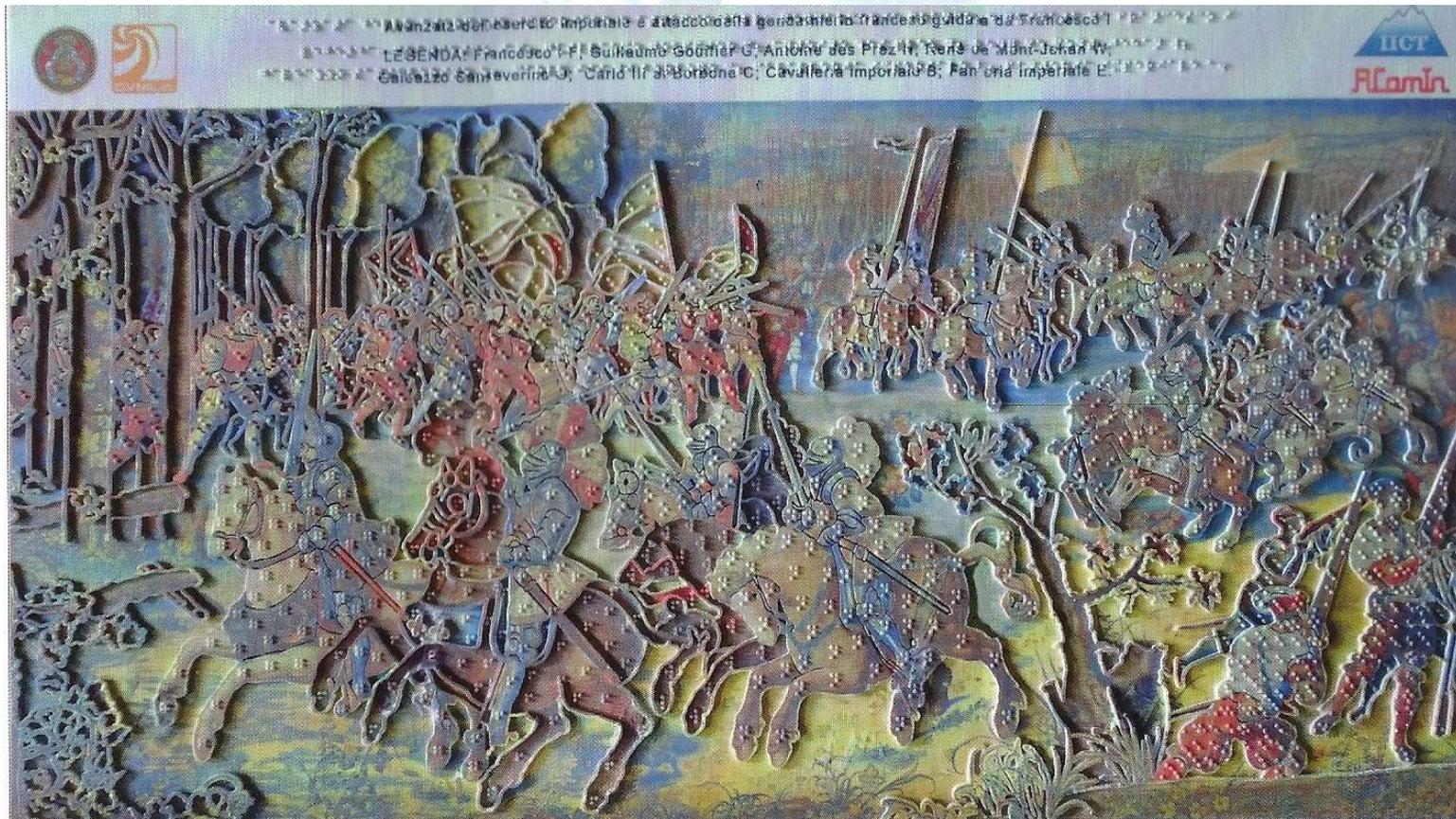


Image manuelle (résine, renforcement de contours)
copie de l'image originale (pas de simplification de formes)
TITRE : Descriptions textuelles et en braille

Pinacothèque de Brera, Milan (Italie) et Université de Pavie

- La bataille de Pavie (détail).



Image manuelle (résine, renforcement de contours)

Pas de simplification de formes

Aide à la perception tactile par le codage tactile (points) de principaux personnages

Université de Pavie (Italie)



Personnages 3D leur place dans le tableau



Plan de la peinture

Observations et remarques sur les méthodes classiques d'accessibilité

Accessibilité aux objets d'art

- Représentations centrées sur la vue
- Copies visant la reproduction fidèle de l'œuvre réalisées par les voyants
- Mélange des présentations et de l'interprétation: empêche la libre interprétation
- Faible nombre d'objets de collections accessibles aux PPIV
- Détérioration des reproductions/représentations

Accessibilité à l'espace muséal

- Impossibilité de sélectionner « ses » objets d'art.
- Difficulté de localiser des œuvres d'art
- Faible liberté/indépendance de déplacements des PPIVs dans l'espace muséal
- Assistance humaine indispensable (y compris l'organisation de la visite)

2. Projet TIC : Représentation interactive

La Fontaine de Meissen [1] ; Musée Victoria et Albert (UK), Institut VRVis (Autriche), Université Ouverte (UK)

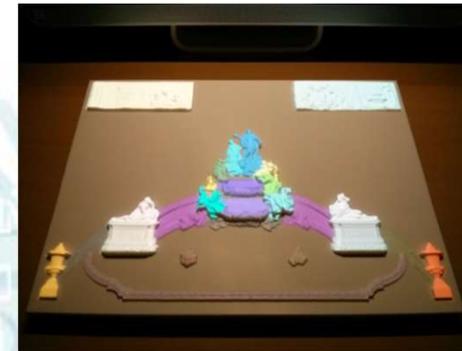
Scène réelle



Reconstruction 2.5D



Vers un format multimodal



a) **Création de représentation**

- Reconstruction vers relief 2.5D (caméra 3D) – carte de profondeur

b) **Support matériel:** matériau Corian de DuPont (fraisage)

c) **Interaction:**

- Exploration tactile avec retour audio
- Reconnaissance/suivi des mains (Hand Tracking)
- Synchronisation audio/tactile

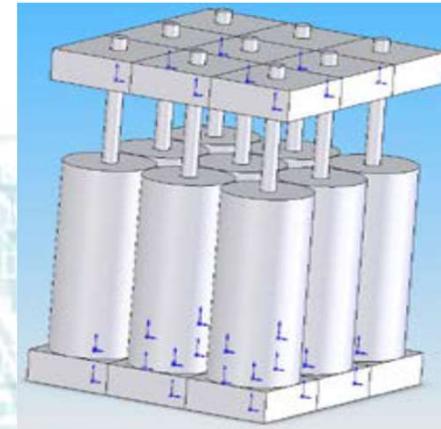
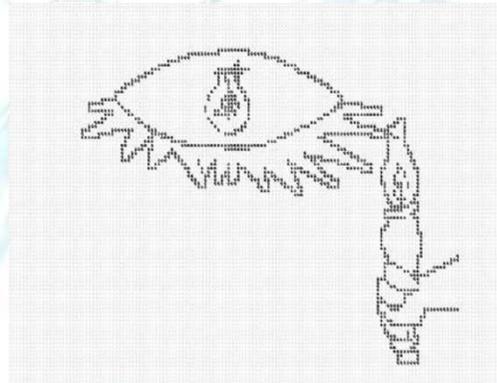
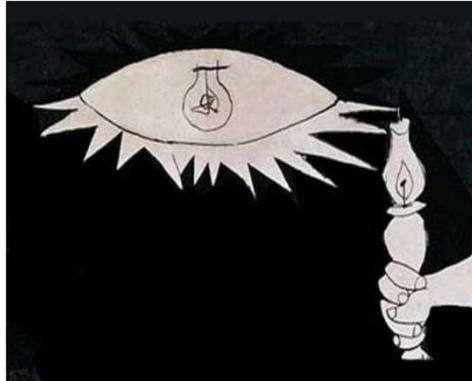
d) **Evaluation:** 14 participants (dont 4 PPIV)

- Objets de taille trop petite,
- Pas assez de séparation (« espace de confort »)
- Nécessité d'une simplification (mais pas de règles proposées)

[1] Reichinger, A. & Garcia Carrizosa, H. & Travnicsek, C. (2018). Designing an Interactive Tactile Relief of the Meissen Table Fountain. ICCHP 2018 : Computers helping people with special needs pp 209-216

2. Projets TIC – Représentation interactive

Guernica [1], Université de Pavie (Italie), Académie Bulgare des Science (Bulgarie)



Affichage sur interface Braille

a) Création de représentation:

Détection des contours considérés comme saillants (ou caractéristiques pertinentes) - expert voyant

b) Support matériel : matrice braille (affichage sur une surface d'objets visuellement statiques), **affichage 2D**

c) Interaction: exploration tactile

d) Développements futurs ?

- Zoom
- Oculométrie: identifier des chemins d'exploration (*basée sur la vue de personne sans incapacité visuelle*)

[1] Gyoshev, S. & Karastoyanov, D.& Stoimenov, N.& Cantoni, V.& Lombardi, L.& Setti, *Exploiting a Graphical Braille Display for Art Masterpieces*, ICCHP 2018 : Computers helping people, pp 237-245

2. Projet TIC – Représentation interactive

Christ et la Samaritaine, BRERA (Milan), Université de Pavie (Italie), Académie Bulgare des Science (Bulgarie) [1]



a) Création de représentation:

- Segmentation d'image afin d'obtenir les contours localisés et fermés (Transformée de Hough)
- Recherche manuelle de contours saillants (filtrage Gaussien, DoG, Canny)

b) Support matériel:

Affichage sur support fixe (surface Braille & imprimante 3D/résine)

c) Interaction:

- Exploration tactile

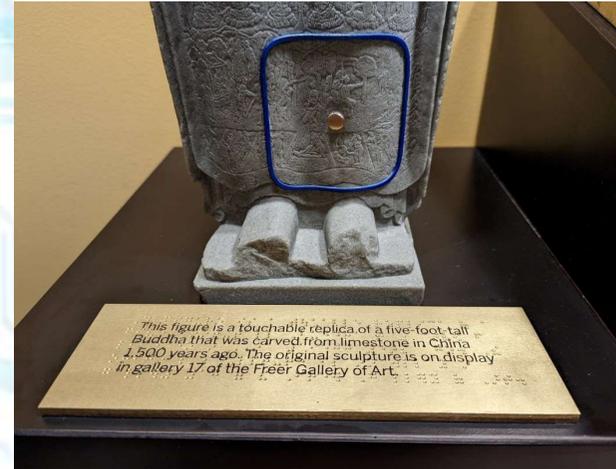
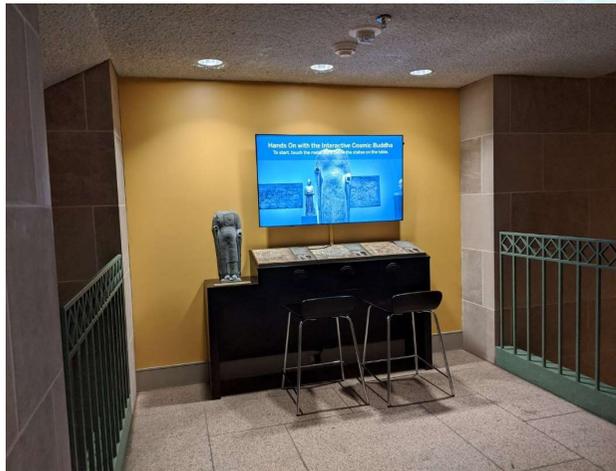
d) Evaluation (Avis positif des visiteurs)

- Beaucoup de détails
- Besoin de faire des allers-retours entre élément et légende

[1] Cantoni, V., Lombardi, L., Setti, A., Gyoshev, S., Karastoyanov, D., et Stoimenov, N., *Art masterpieces accessibility for blind and visually impaired people*, ICCHP, 2018, p. 267-274.

2. Projet TIC – Représentation interactive

Interactive Cosmic Buddha, National Museum of Asian Art, Washington DC, USA, Touch Graphics Inc. ¹



a) Création de représentation:

- Laser (caner) 3D
- Modélisation 3D (Autodesk) et photographies

b) Support matériel:

- Copies/reproduction par encre UV et dalle de calcaire;
- **Modèle 2.5D et 3D** (Raspberry Pi, capteur tactile)

c) Interaction:

- Livre interactif,
- Exploration tactile
- Retour audio
- Braille

d) *Pas d'évaluation trouvée*

¹<https://www.touchgraphics.com/exhibits/cosmic-buddha>, dernier accès 18.05.2022

2. Projet TIC – Représentation interactive

Projet régional T-VedO (2014-2018) : Génération modèle 3D d'une sculpture, Univ. de Florence

a) Création de représentation:

- Extraction semi automatique (experts) des contours considérés comme significatifs
- **Interaction « live-wire »** (saisie de points de contours avec une souris) [1]
- Modélisation **2.5D** basé sur SFS (**Shape from Shading**) [2] pour représenter les perspectives

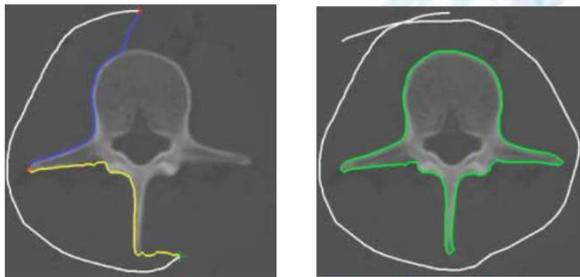


Image médicale [1]



Mise en bas-relief (2.5D) de la peinture « La vierge et enfant avec deux anges » par Giovanni Francesco da Rimini [3]

b) Support:

- [2] Ecran PC
- [3] Pièce mécanique (CNC usiné Corian)

c) Interaction:

- [2] exploration avec les yeux
- [3] Exploration tactile

d) Evaluation

- 14 PPIV (8 aveugles de naissance et 6 aveugles tardifs) sur la lisibilité (intelligibilité de représentations proposées)
- + perception du positionnement et des formes
- perception des détails et de la profondeur

[1] Barrett, William A. Eric, W. A., Mortensen, N. Interactive live-wire boundary extraction, Medical Image Analysis, Volume 1, Issue 4, 1997, Pages 331-341, ISSN 1361-8415

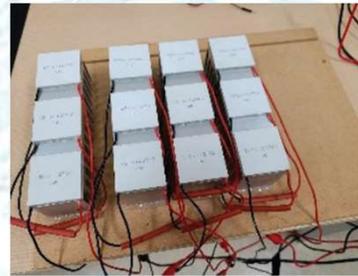
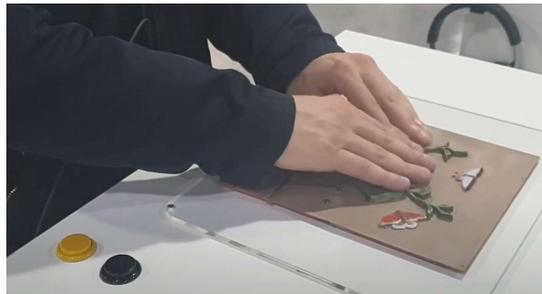
[2] Furferi, Rocco & Governi, Lapo & Volpe, Yary & Puggelli, Luca & Vanni, Niccolò & Carfagni, Monica. (2014). From 2D to 2.5 D ie from painting to tactile model. Graphical Models. 76. 706-723.

[3] Buonamici, F., Carfagni, M., Furferi, R., Governi, L. et Volpe, Y. « Are we ready to build a system for assisting blind people in tactile exploration of bas-reliefs? », *Sensors*, vol. 16, n° 9, p. 1361, 2016.

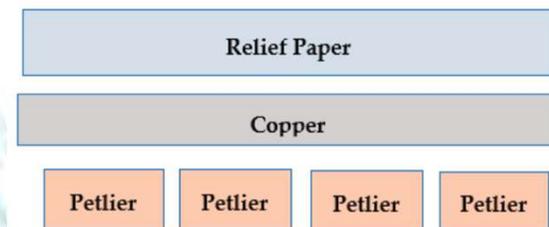
2. Projet TIC – Représentation interactive

Projet Blind Touch (2018-) Université Sungkyunkwan (Corée du Sud) [1,2]

Représentation multimodale



Matrice de dalles « Peltier »



a) Création représentation:

- Experts + Méthode SFS– modèle en relief
- Sensation de chaleur: profondeur (5 niveaux)

b) Support:

- Modèle 2.5D (Furferi) [2] + **peinture conductive**
- Capteur tactile
- Sons ambiants
- Matrice de dalles de Peltier [1]

c) Interaction

- Exploration tactile (contours/surface[2] + sensation de chaleur[1])
- Tape pour retour audio + sons ambiants[1,3]

d) Evaluation 6 PPIV [1] et 18 PPIV [2]:

- [1] ++ innovante + intuitif => plus engageante
- - difficile de distinguer les limites des objets
- [2] ++ localisation des objets + contexte (sons) => plus facile que le braille

[1] Bartolome, J. I., & Cho, J. & Quero, L. & Jo, S. & Cho, G. (2020). *Thermal Interaction for Improving Tactile Artwork Depth and Color-Depth Appreciation for Visually Impaired People. Multi-Sensory Interaction for Blind and Visually Impaired People* pp. 11-36 Electronics

[2] Quero, L., C.,; Bartolomé, J. I., Cho, J. *Accessible Visual Artworks for Blind and Visually Impaired People: Comparing a Multimodal Approach with Tactile Graphics. Multi-Sensory Interaction for Blind and Visually Impaired People* pp.55-73 Electronics 2021, 10, 297

[3] Lee Y, Lee C-H, Cho JD. *3D Sound Coding Color for the Visually Impaired. Multi-Sensory Interaction for Blind and Visually Impaired People* pp. 117-138 Electronics. 2021; 10(9):1037.

2. Projets TIC – Observations et remarques

- + Multisensorialité/Multimodalité (toucher, température, ouïe)
- + Impression 3D (moins coûteuse)
- *Cependant* : Format 2.5D et 3D = nouvelles créations (ajout d'information absente)
- Représentation statique
- Méthodes de segmentation semi-automatique/interactive (voire manuelle)

Approches proposées jusqu'à présent

- Recherche de l'équivalence entre des représentations de PPIV et à vue « normale »
=> Vers une interprétation imposée

Approche alternative (dé-visualisation ? post-vision ?)

- Emergence d'une interprétation émanant de *tout visiteur* (y compris les PPIVs)
=> des représentations multimodales co-crées

3. Segmentation d'images de peinture.

3.1.. Détection de contours – Opérateurs traditionnels

Filtre de Canny

Observations :

- Détection rapide & simple
 - Trop de détails
 - Difficile à interpréter
- ⇒ Sélection manuelle des contours représentatifs



Filtre de Canny appliqué à une scène de la Tapisserie de Bayeux [1]

[1] Canny, J. , *A Computational Approach to Edge Detection* , IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI) , vol. 8, n 6, novembre 1986, p. 679–714

3. Segmentation d'images de peinture

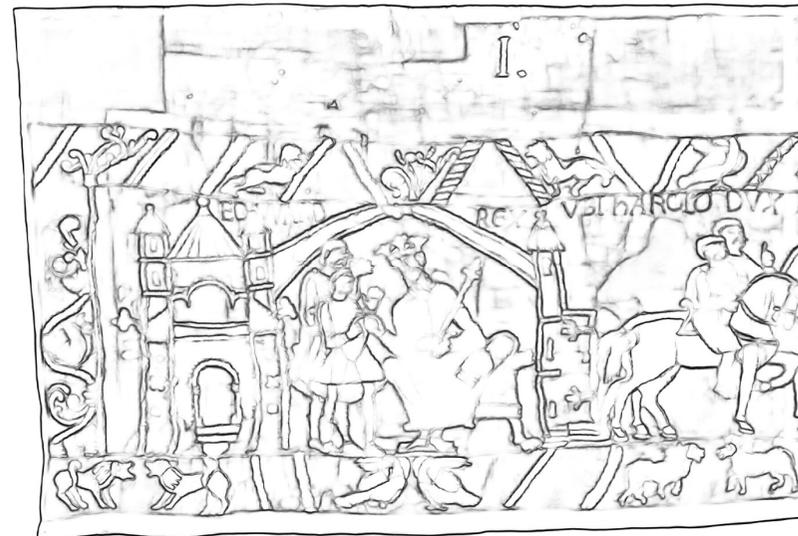
3.2. CNN (Convolution Neural Networks)

Image originale



« Première scène » de la Tapisserie de Bayeux¹

HED [2]



Résultat de segmentation (résolution: 3694x2492)

- Réduction visuelle (manuelle) du nombre de contours
- Toujours pb de la sélection des contours représentatifs
(pertinents pour la génération automatique de représentations tactiles)

^[1] <https://www.bayeuxmuseum.com/la-tapisserie-de-bayeux/>, dernier accès 12.05.22

[2] Xie, S. and Tu, Z. "Holistically-Nested Edge Detection," 2015 IEEE Int. Conf. on Computer Vision (ICCV), 2015, pp. 1395-1403

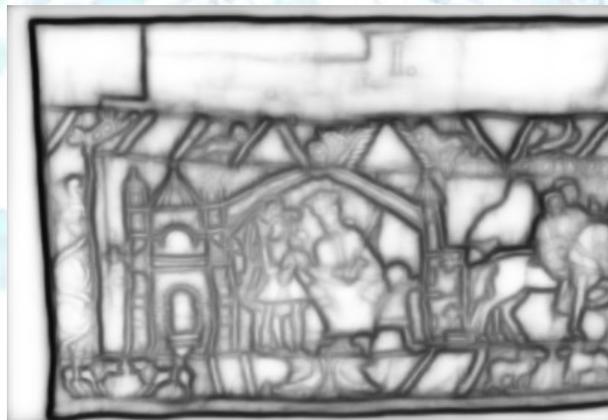
3. Segmentation d'images de peinture

3.2. CNN

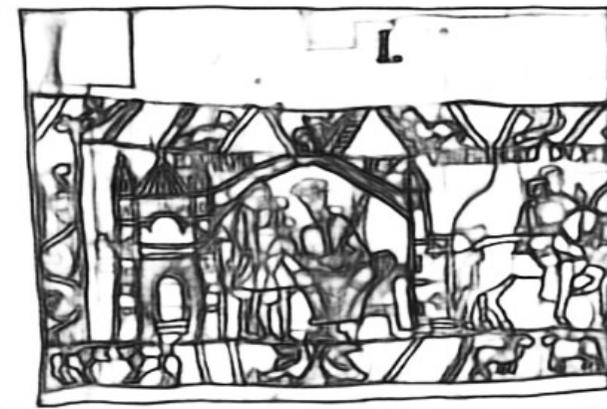
Originale



RCF [1]



DexiNed [2]



- Réduction visuelle du nombre de contours
- Toujours le pb de la sélection des contours représentatifs (tactile ?)
- Temps de calcul élevé

[1] Liu, Y. et al., "Richer Convolutional Features for Edge Detection," in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 41, no. 8, pp. 1939-1946, 1 Aug. 2019

[2] Soria, X., Riba, E. and Sappa, A. "Dense Extreme Inception Network: Towards a Robust CNN Model for Edge Detection," 2020 IEEE Winter Conf. on Applications of Computer Vision (WACV), 2020, pp. 1912-1921

3. Segmentation d'images de peinture

Observations et remarques – méthodes de détection de contours:

- Les approches étudiées ne permettent pas d'obtenir la segmentation en contours qui pourrait être utile pour une représentation tactile
- Problème à résoudre:
segmentation d'images en contours sémantiquement significatifs
ET
tactilement représentables (approximation)

Conclusion

1. L'accessibilité aux objets d'art de musées s'améliore à « petite vitesse »
2. Les représentations tactiles offertes sont
 - celles d'objets de peinture visuellement statiques,
 - souvent des « copies » des objets
 - accompagnée parfois d'un retour audio sur l'objet sélectionné manuellement
 - imposent une interprétation uniformisée de l'œuvre.
3. Les représentations multimodales interactives font une apparition « timide » mais visent à copier les objets représentés.

Conclusion

4. Une alternative « inclusive » fondée sur la co-création devrait :
- induire une interprétation personnelle des perceptions multimodales
 - ➔ nouvelle expérience esthétique pour tout visiteur
 - conduire à un format multimodal permettant de représenter les objets de peinture visuellement statiques **ET** dynamiques (e.g. les vagues de la mer)
 - Proposer un support matériel permettant
 - ✓ l’affichage de format multimodal (haptique, audio)
 - ✓ une exploration haptique (tactile) associée à une description audio *ad hoc*..
- ➔ cf. projets SUMUM, GM et IMG

Conclusion

5. Le manque d'une méthode efficace de segmentation d'images réalisée par un expert humain

==> Objet de ma thèse au LITIS

6. Le manque d'une méthode automatique de génération de représentations haptiques à partir d'une image

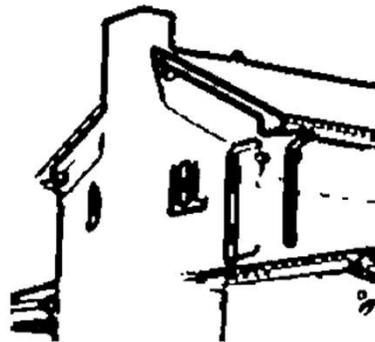
==> Objet de recherche au GREYC (M. Redon, Y. Quéau, A. El Moataz) & au LITIS

Merci pour votre attention

3. Segmentation d'images de peinture

3.3 Vers la génération automatique d'images tactiles

Way et Barner 1997 [1]

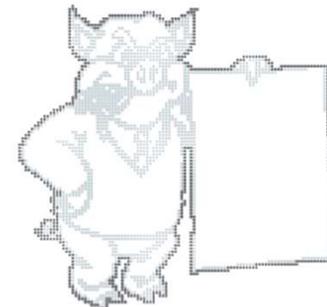
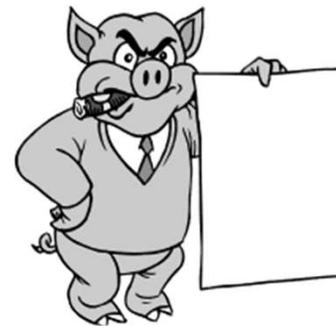


(d)

Méthodes

- Segmentation d'image (K-means)
- Détection de contours (Sobel)

Krufka et Barner 2005 [2]



Méthodes

- Image vectorielle
- Sobel
- Arbre hiérarchique

[1] Way, T. P., et Barner, K. E, « Automatic visual to tactile translation. i. human factors, access methods and image manipulation », *IEEE Trans. on rehabilitation engineering*, vol. 5, n° 1, p. 81-94, 1997.

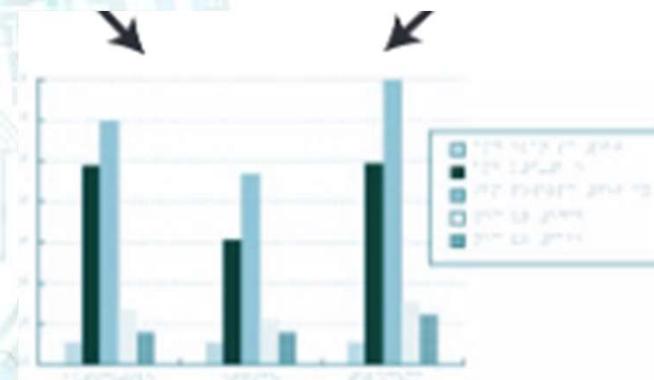
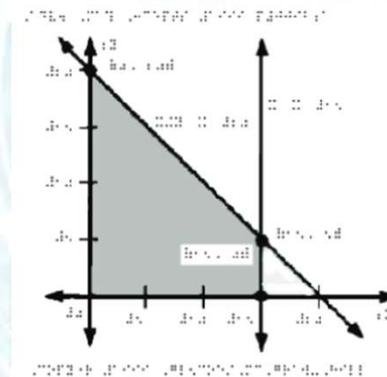
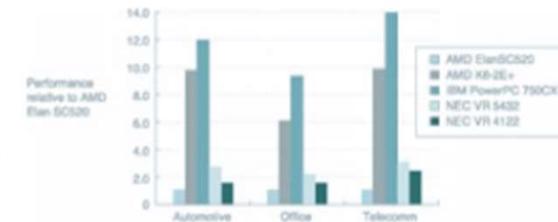
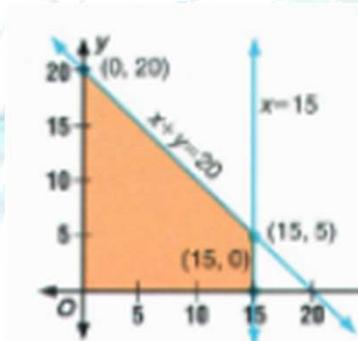
[2] Krufka, S. E. et Barner, K. E. « Automatic production of tactile graphics from scalable vector graphics », in *Proc.of the 7th Int. ACM SIGACCESS conf. on Computers and accessibility*, 2005, p. 166-172.

3.3 Vers la génération automatique d'images tactiles

Ladner *et al.* 2005 [1] Jayant *et al.* 2007 [2]

Méthodes utilisées

- Classification d'objets
- Segmentation d'image
- Simplification (Photoshop)



[1] Ladner *et al.*, R. E. « Automating tactile graphics translation », *7th Int. ACM SIGACCESS Conf. on Computers and accessibility*, 2005, p. 150-157.

[2] Jayant, C. , Renzelmann, M. , Wen, D., Krisnandi, S., Ladner, R. et Comden, D.: « Automated tactile graphics translation: in the field », in *Proc. of the 9th Int. ACM SIGACCESS Conf. on Computers and Accessibility*, 2007, p. 75-82.

3.3 Vers la génération automatique d'images tactiles

Wang *et al.* 2008 [1]



Méthodes

- Inférence statistique
- Canny

Ferro 2018 [2]



Méthodes

- Level set + Réduction de bruit
- Simplification (Machine Learning)

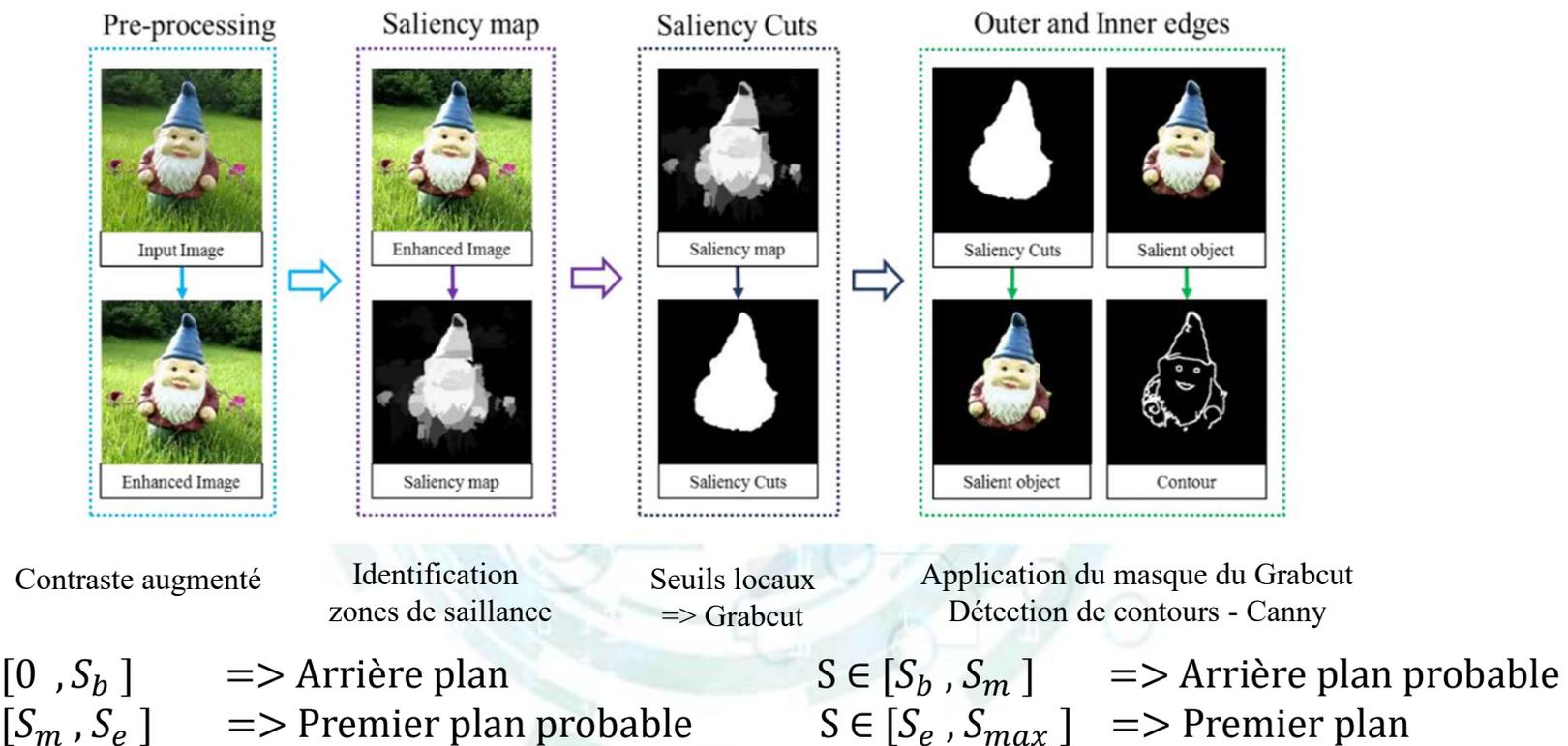
[1]Wang, Z. Xu, X. et Li, B. « Bayesian tactile face », in *2008 IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2008, p. 1-8.

[2]Ferro, T. J. « Automatic Image Processing and Conversion to Tactile Graphics », *Theses and Dissertations*, janv. 2018

3.3 Vers la génération automatique d'images tactiles

Yoon *et al.* 2018 [1] , Abdusalomov *et al.* 2020 [2]

Objectif: Extraire les éléments saillants dans une scène puis obtenir leurs contours



[1] Yoon, H. Kim, B.-H. Mukhriddin, M. et Cho, J. « Saliency region extraction based on global contrast enhancement and saliency cut for image information recognition of the visually impaired », *KSII Trans. on Internet and Information Systems (TIIS)*, vol. 12, n° 5, p. 2287-2312, 2018.

[2] Abdusalomov, A. , Mukhiddinov, M. , Djuraev, O. , Khamdamov, U. Whangbo, et T. K. « Automatic salient object extraction based on locally adaptive thresholding to generate tactile graphics », *Applied Sciences*, vol. 10, n° 10, p. 3350, 2020.

3.3 Vers la génération automatique d'images tactiles

Auteurs	Types de représentation	Méthode
Way et Barner 1997	Image de scène naturelle	K-means, Sobel, Simplification de l'image
Krufka et Barner 2005	Image de scène naturelle (format svg)	Détection de contours, architecture en arbre
Ladner <i>et al.</i> 2005 Jayant <i>et al.</i> 2007	Objets mathématiques (graphiques)	ML, traitement d'images, Simplification de l'image
Wang <i>et al.</i> 2008	Portrait de visage humain	Statistique bayésienne, ASM, Canny
Ferro 2018	Image de scène naturelle	Segmentation Level Set, Simplification de l'image
Yoon <i>et al.</i> 2018, Abdusalomov <i>et al.</i> 2020	Image de scène naturelle	Extraction de zones saillantes par étude des contrastes (+Grabcut)

3.3 Vers la génération automatique d'images tactiles

Observations et remarques – méthodes de détection de contours:

- Méthodes automatiques basées sur l'extraction d'objets saillants
 - Extraction de plusieurs objets
 - Réduction des détails essentiels
- Limites :
 - Erreurs lorsque le contraste « arrière plan/premier plan (objets) » proches de couleurs de l'objet à extraire
 - Applicable sur des images de peintures ?

Bibliographie

Reichinger, A. & Garcia Carrizosa, H. & Travnicek, C. (2018). Designing an Interactive Tactile Relief of the Meissen Table Fountain. ICCHP 2018 : Computers helping people with special needs pp 209-216 DOI: 10.1007/978-3-319-94274-2_28.

Cantoni, V., Lombardi, L. , Setti, A., Gyoshev, S., Karastoyanov, D., et Stoimenov, N. « Art masterpieces accessibility for blind and visually impaired people », in *International Conference on Computers Helping People with Special Needs*, 2018, p. 267-274.

Gyoshev, S. & Karastoyanov, D.& Stoimenov, N.& Cantoni, V.& Lombardi, L.& Setti, A. (2018). Exploiting a Graphical Braille Display for Art Masterpieces. . ICCHP 2018 : Computers helping people with special needs pp 237-245 DOI10.1007/978-3-319-94274-2_33.

Furferi, Rocco & Governi, Lapo & Volpe, Yary & Puggelli, Luca & Vanni, Niccolò & Carfagni, Monica. (2014). From 2D to 2.5 D ie from painting to tactile model. *Graphical Models*. 76. 706-723. 10.1016/j.gmod.2014.10.001.

Bibliographie

William A. Barrett, Eric, W. A., Mortensen, N. Interactive live-wire boundary extraction, *Medical Image Analysis*, Volume 1, Issue 4, 1997, Pages 331-341, ISSN 1361-8415, [https://doi.org/10.1016/S1361-8415\(97\)85005-0](https://doi.org/10.1016/S1361-8415(97)85005-0).

Iranzo Bartolome, J. & Cho, J. & Quero, L. & Jo, S. & Cho, G. (2020). Thermal Interaction for Improving Tactile Artwork Depth and Color-Depth Appreciation for Visually Impaired People. *Multi-Sensory Interaction for Blind and Visually Impaired People* pp. 11-36
Electronics. 9. 1939. [10.3390/electronics9111939](https://doi.org/10.3390/electronics9111939).

Cavazos Quero, L.; Iranzo Bartolomé, J.; Cho, J. Accessible Visual Artworks for Blind and Visually Impaired People: Comparing a Multimodal Approach with Tactile Graphics. *Multi-Sensory Interaction for Blind and Visually Impaired People* pp.55-73
Electronics 2021, 10, 297. <https://doi.org/10.3390/electronics10030297>

Lee Y, Lee C-H, Cho JD. 3D Sound Coding Color for the Visually Impaired. *Multi-Sensory Interaction for Blind and Visually Impaired People* pp. 117-138 *Electronics*. 2021; 10(9):1037.
<https://doi.org/10.3390/electronics10091037>

Bibliographie

F. Buonomici, M. Carfagni, R. Furferi, L. Governi, et Y. Volpe, « Are we ready to build a system for assisting blind people in tactile exploration of bas-reliefs? », *Sensors*, vol. 16, n° 9, p. 1361, 2016.

J. Canny, « A Computational Approach to Edge Detection », *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 8, n 6, novembre 1986, p. 679–714

S. Xie and Z. Tu, "Holistically-Nested Edge Detection," 2015 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2015, pp. 1395-1403, doi: 10.1109/ICCV.2015.164.

Y. Liu *et al.*, "Richer Convolutional Features for Edge Detection," in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 41, no. 8, pp. 1939-1946, 1 Aug. 2019, doi: 10.1109/TPAMI.2018.2878849.

X. Soria, E. Riba and A. Sappa, "Dense Extreme Inception Network: Towards a Robust CNN Model for Edge Detection," 2020 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV), 2020, pp. 1912-1921, doi: 10.1109/WACV45572.2020.9093290.

Bibliographie

T. P. Way et K. E. Barner, « Automatic visual to tactile translation. i. human factors, access methods and image manipulation », *IEEE Transactions on rehabilitation engineering*, vol. 5, n° 1, p. 81-94, 1997.

S. E. Krufka et K. E. Barner, « Automatic production of tactile graphics from scalable vector graphics », in *Proceedings of the 7th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, 2005, p. 166-172.

C. Jayant, M. Renzelmann, D. Wen, S. Krisnandi, R. Ladner, et D. Comden, « Automated tactile graphics translation: in the field », in *Proceedings of the 9th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, 2007, p. 75-82.

R. E. Ladner *et al.*, « Automating tactile graphics translation », in *Proceedings of the 7th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, 2005, p. 150-157.

Bibliographie

Z. Wang, X. Xu, et B. Li, « Bayesian tactile face », in *2008 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2008, p. 1-8.

T. Ferro, « Automatic Image Processing and Conversion to Tactile Graphics », *Theses and Dissertations*, janv. 2018, doi: <https://doi.org/10.25772/NCW2-7E33>.

H. Yoon, B.-H. Kim, M. Mukhiddin, et J. Cho, « Salient region extraction based on global contrast enhancement and saliency cut for image information recognition of the visually impaired », *KSII Transactions on Internet and Information Systems (TIIS)*, vol. 12, n° 5, p. 2287-2312, 2018.

A. Abdusalomov, M. Mukhiddinov, O. Djuraev, U. Khamdamov, et T. K. Whangbo, « Automatic salient object extraction based on locally adaptive thresholding to generate tactile graphics », *Applied Sciences*, vol. 10, n° 10, p. 3350, 2020.

M. Mukhiddinov et J. Cho, « Smart Glass System Using Deep Learning for the Blind and Visually Impaired », *Electronics*, vol. 10, n° 22, p. 2756, 2021.