

TELEGRAPHE DE CHAPPE REVISITE PAR LES NOUVELLES TECHNOLOGIES

I - Présentation du projet

A l'occasion de la fête de la science qui s'est déroulée au C.I.V le Dimanche 12 Octobre 2014 à Sophia-Antipolis, le Secrétaire Pascal (F6HZV) du radio-club d'Antibes (F6KHK) a proposé de présenter le thème suivant :

Un texte saisi sur un PC sera transmis automatiquement par les bras articulés d'une maquette représentant une tour de Chappe. Une webcam reliée à un PC visant les bras mécaniques de la maquette, analysera l'image et reproduira le texte émis .

Suite à de nombreuses discussions et expérimentations, lors des réunions hebdomadaires du Jeudi, le projet a pu aboutir : Marc (SWL) s'est occupé de la partie maquette Chappe et robotique du projet, que nous n'aborderons pas dans ce document.

Pour la partie reconnaissance optique, Laurent (F4HKW) a tout d'abord proposé l'utilisation des transformées de Fourier 2 dimensions (FFT 2D) et la programmation de l'analyseur en C# . Ensuite, Christophe (F1JKE et Conseiller technique du club) a suggéré l'usage de la corrélation, et de la fenêtre de Hamming.

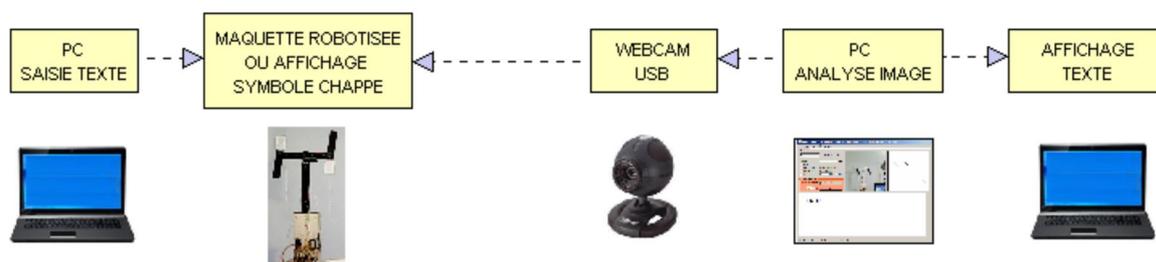
Les mathématiques permettant l'utilisation des FFT 2D pour obtenir rapidement la corrélation entre deux images, les bases du projet étaient définies.

Pour la phases de tests et standardisation, Pascal (F6HZV), a défini un alphabet Chappe et programmé un logiciel de test en VB 5 (Chappe1) affichant une série de symboles à l'écran.

II - Principe de fonctionnement

1- Synoptique

Le schéma ci-dessous matérialise l'esprit du projet. La représentation des symboles Chappe est assurée par une maquette robotisée, ou par l'affichage sur un écran en utilisant le logiciel Chappe1.

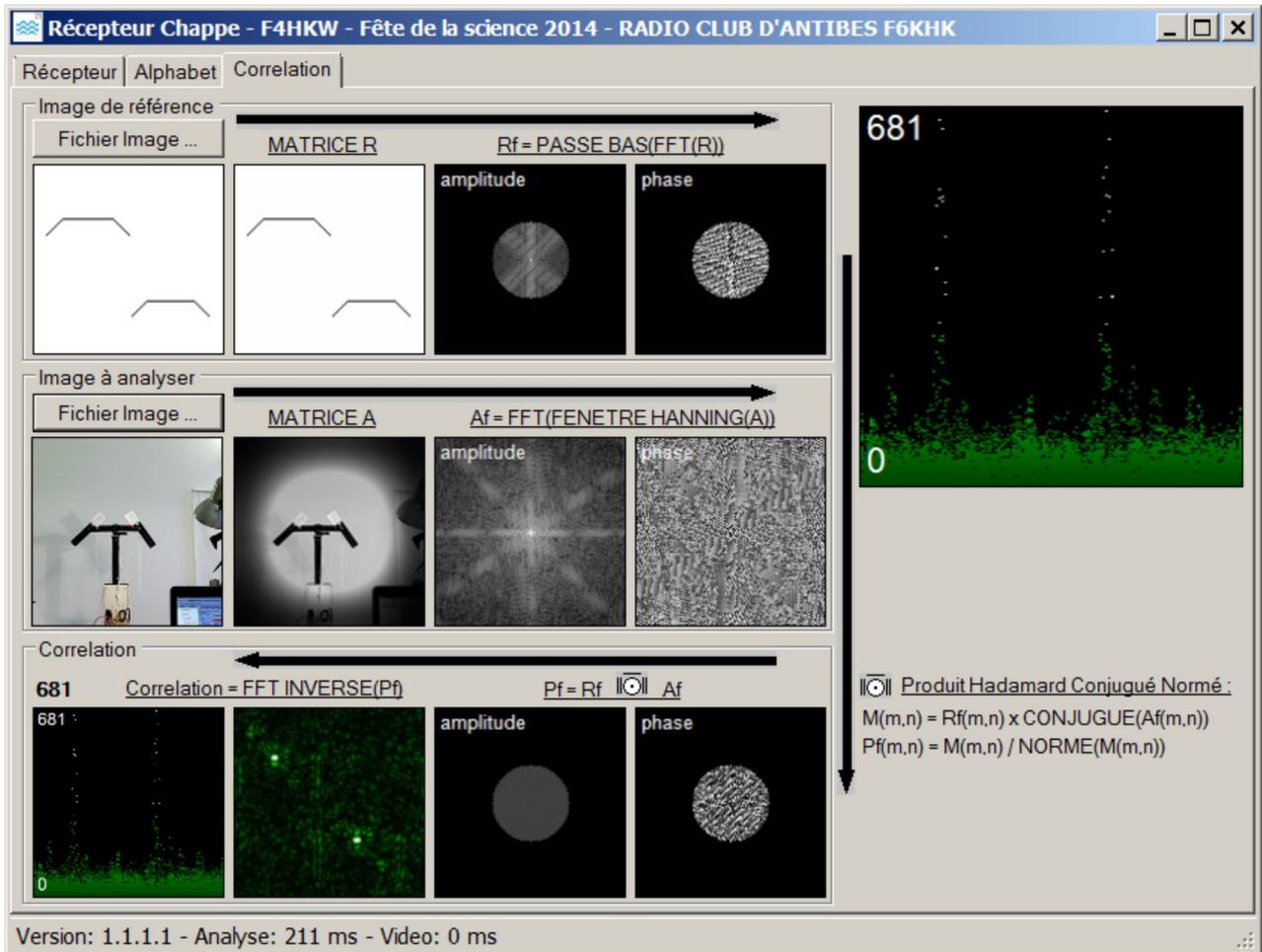


L'algorithme de reconnaissance utilise le calcul de la corrélation d'images : avec cette approche, les dimensions des symboles ainsi que la distance entre la webcam et le symbole influent beaucoup sur la qualité de la « liaison » optique. Le système est très sensible aux dimensions, proportions et inclinaisons : la tolérance est d'environ 5 %.

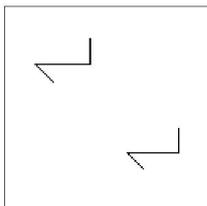
Pour la démonstration, un PC mono-cœur cadencé 1.3 Ghz et tournant sous Windows 32 ou 64 bits a suffi, et permettait une reconnaissance de 5 symboles par seconde environ.

2- Calcul de la corrélation entre deux images

L'image ci-dessous illustre les étapes de l'algorithme de reconnaissance basé sur la corrélation d'images 2D.



a- Une première étape est la génération manuelle d'images de références : ce sont des images Bitmap .bmp de 128 pixels sur 128 pixels, représentant un symbole de couleur noire sur fond blanc. Les essais ont montré que le symbole de référence:



- . doit respecter les proportions du symbole Chappe à analyser
- . doit être tracé avec des lignes de 1 pixel d'épaisseur
- . doit être dupliqué en réduisant de 5 %, afin d'augmenter la tolérance aux dimensions, d'où la présence du symbole en haut à gauche et en bas à droite légèrement réduit.

Symbole Chappe de référence

b- Les images (de référence et issues de la webcam) sont tout d'abord redimensionnées au format 128 x 128 puis converties en niveaux de gris, valeurs comprises entre 0 (Noir) et 255 (Blanc) et stockées en matrices de 128 lignes x 128 colonnes. Nommons R , la matrice stockant l'image de référence et A la matrice de l'image issue de la webcam. Elles appartiennent à l'ensemble des nombres réels $\mathbb{R}^{128, 128}$.

c- Pour que le traitement soit indépendant du niveau d'éclairage dans la pièce, les niveaux de gris sont réajustés en fonction des valeurs minimales et maximales de la matrice: les valeurs d'intensités sont alors extrapolées entre 1 et 254, selon la formule :

$$R[i,j] = 1 + 253 \cdot \frac{R[i,j] - \text{Min}(R)}{\text{Max}(R) - \text{Min}(R)} \quad \text{et} \quad A[i,j] = 1 + 253 \cdot \frac{A[i,j] - \text{Min}(A)}{\text{Max}(A) - \text{Min}(A)}$$

d- Sur l'image A , une fenêtre de Hamming est appliquée; cette étape est indispensable avant d'appliquer la FFT 2D :

$$A[i,j] = A[i,j] \cdot \left(0,54 - 0,46 \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{127} \cdot i\right) \right) \cdot \left(0,54 - 0,46 \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{127} \cdot j\right) \right)$$

e- Puis on applique la transformée de Fourier rapide en deux dimensions (FFT 2D) aux matrices **R** et **A** pour obtenir deux nouvelles matrices respectivement **Rf** et **Af** appartenant à l'ensemble des nombres complexes $\mathbb{C}^{128 \cdot 128}$.

Petit rappel sur les nombres complexes : un nombre complexe s'écrit $c = a + i \cdot b$, avec **a** la partie réelle, **b** la partie imaginaire, et **i** nombre imaginaire vérifiant $i \cdot i = -1$. Le conjugué de **c** noté \bar{c} est égal à $a - i \cdot b$. La norme d'un nombre complexe **c** est :

$$\|c\| = \sqrt{a \cdot a + b \cdot b}$$

f- Sur la matrice de référence **Rf** un filtre passe-bas idéal à flancs raides est appliqué :

$$\text{Si } \sqrt{i \cdot i + j \cdot j} \leq 26 \text{ alors } Rf[i,j] = Rf[i,j], \text{ sinon } Rf[i,j] = 0$$

le filtre avec « bande passante spatiale » de 52 points est centré sur la fréquence spatiale (0,0) : il est matérialisé par le disque de rayon 26 points entouré de noir (valeurs à zéro) sur les images d'amplitude et de phase de **Rf**. Ce filtre permet d'éliminer le signal des pixels parasites introduits par la webcam.

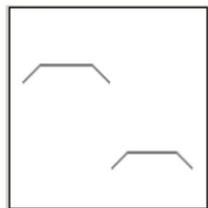
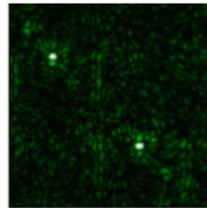
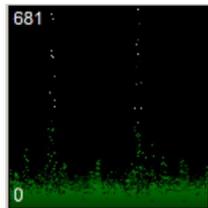
g- L'étape suivante consiste à faire le produit d'Hadamard conjugué et normé en utilisant la formule suivante :

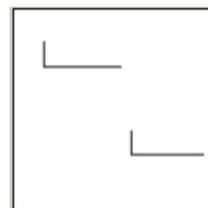
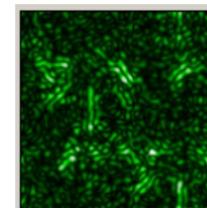
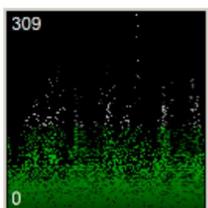
$$Pf[i,j] = \frac{Rf[i,j] \cdot \bar{Af}[i,j]}{\|Rf[i,j] \cdot \bar{Af}[i,j]\|}$$

produit terme à terme conjugué des éléments de la matrice divisé par la norme du produit.

h- la dernière étape consiste à appliquer la transformée de Fourier inverse sur la matrice **Pf** pour obtenir la matrice de corrélation **Cf** : ses éléments ont une partie imaginaire nulle; elle appartient à l'ensemble des nombres réels $\mathbb{R}^{128 \cdot 128}$

Lorsqu'une partie de l'image de référence correspond à une partie de l'image à analyser, des pics de valeur (pics de corrélation) apparaissent dans la matrice **Cf** :

<p><u>Image à analyser</u></p> 	<p><u>Image de référence</u></p> 	<p><u>Résultat de la corrélation</u></p> 	<p><u>Corrélation vue de côté</u></p> 	<p><u>Si l'image et le symbole correspondent :</u></p> <p>Deux pics (gros points blancs) apparaissent nettement à l'emplacement des symboles de référence.</p> <p>La valeur maximale (Score) est ici 681.</p>
--	--	--	--	--

<p><u>Image à analyser</u></p> 	<p><u>Image de référence</u></p> 	<p><u>Résultat de la corrélation</u></p> 	<p><u>Corrélation vue de côté</u></p> 	<p><u>Pas de correspondance :</u></p> <p>Il n'y a pas de pic net, et les valeurs de corrélation sont diffuses.</p> <p>La valeur maximale (Score) est ici 309.</p>
--	--	--	--	--

La valeur maximale que nous appelons Score, permettra de décider quel symbole se rapproche le plus d'une image à analyser. Dans l'exemple précédent, le score **681** étant supérieur au score **309**, la première image de référence est la meilleure candidate se rapprochant le plus de l'image analysée. On peut aussi noter que les éléments de paysage entourant l'image de la maquette Chappe ont peu d'impact dans l'analyse (valeurs diffuses en vert dans la matrice de corrélation).

III- Utilisation du logiciel Récepteur Chappe

Sur le site internet du radio-club, vous pouvez télécharger l'archive contenant le logiciel de reconnaissance optique. L'archive ZIP est organisée ainsi :

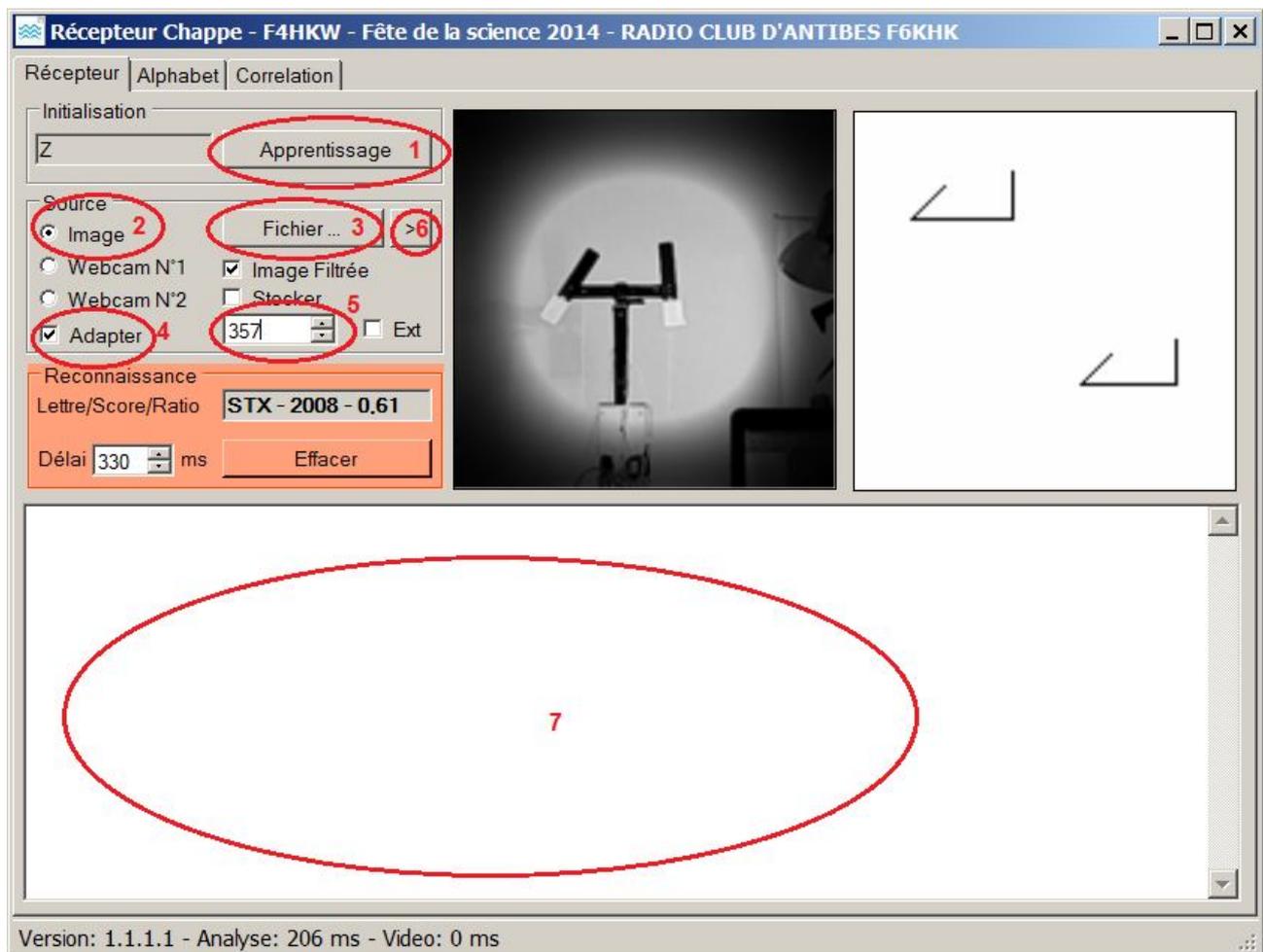
- Article
- ChappeReceiver → Contient le projet C# complet développé avec Microsoft Visual C# 2008
- Emetteur-Recepteur-Chappe → L'émetteur Chappe1.exe (F6HZV) et le récepteur ChappeReceiver.exe (F4HKW)
- Alphabet-emetteur-128 → L'alphabet compatible avec les symboles de Chappe1.exe
- Presentation-Fete-Science → Le récepteur ChappeReceiver.exe (F4HKW)
- Alphabet-chappe-fete-science-128 → Les symboles Chappe utilisés lors de la fête de la science
- Correlation → Les images de références pour l'illustration de la corrélation (section II.2)
- Images-chappe → Les photos de la maquette Chappe
- Message-chappe → Un exemple de message Chappe présenté à la fête de la science

*Note : pour fonctionner, ChappeReceiver.exe nécessite le Framework .Net 2.0, installé par défaut sur les versions récentes de Windows. Si ce n'est pas le cas (message d'erreur au lancement), le Framework est téléchargeable sur le site microsoft.com
ChappeReceiver.exe nécessite au minimum Windows XP 32 bits et fonctionne aussi sur 64 bits.*

1- Reconnaissance d'images

Après avoir extrait le contenu de l'archive ZIP, placez vous dans le répertoire **Presentation-Fete-Science** et lancez **ChappeReceiver.exe**.

L'application suivante apparaît :



1- Cliquer sur le bouton **Apprentissage** et sélectionner le répertoire **Alphabet-chappe-fete-science-128** : il contient une partie des 50 images des symboles de référence 128x128 pixels au format bitmap. Les noms des fichiers sont de la forme : **128_<caractere>_<angle bras gauche>_<angle axe central>_<angle bras droit>.bmp**
Les symboles se chargent en mémoire suivant l'étape 1 du schéma de la section II-3.

2- Sélectionner l'option **Image** (pour l'analyse d'un fichier image)

3- Cliquer sur le bouton **Fichier ...** et sélectionner dans le répertoire **Message-Chappe** , l'image **0.bmp**
Une image de la maquette Chape réelle apparaît à droite.

4- Cocher l'option **Adapter** permettant d'activer le zoom numérique

5- Pour régler le zoom, entrer la valeur **357** dans le champ texte situé à droite et presser la touche **Entrée**

A cette étape, le symbole **STX** (début de message) doit être identifié dans le bloc **Reconnaissance** → **Champ Lettre/Score/Ratio**, et le symbole de référence correspondant apparaît à droite de l'image.

6- Cliquer plusieurs fois sur le bouton **>** situé à droite du bouton **Fichier ...** permettant ainsi de passer au numéro de fichier suivant dans le répertoire

7- Le message apparaît alors dans la zone texte.

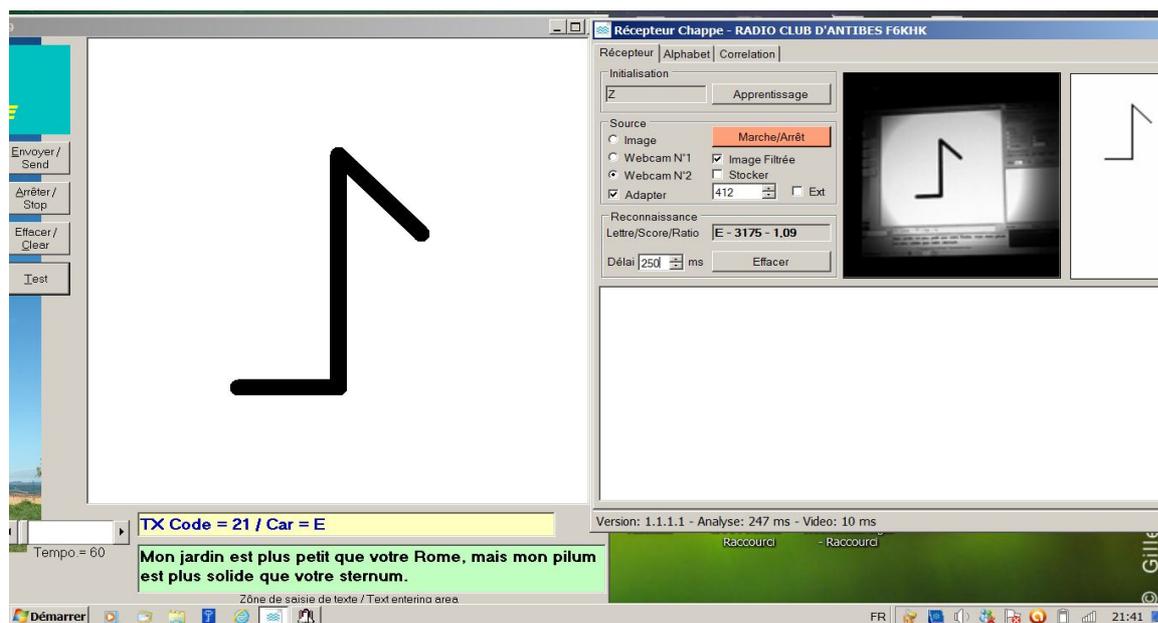
*Note : le répertoire **Images-Chappe** contient les échantillons d' images réelles de la maquette Chappe présentée lors de la fête de la science. Ces images peuvent être utilisées pour composer d'autres messages.*

2- Reconnaissance par Webcam

Pour activer la reconnaissance par Webcam dans l'application **ChappeReceiver.exe**, il suffit de sélectionner l'option Webcam 1 ou Webcam 2, puis cliquer sur le bouton **Marche/Arrêt** (en **Rouge** = acquisition vidéo par webcam en cours , en **Gris** = webcam arrêtée). Sur le PC de démonstration, Webcam 1 correspondait à la Webcam intégrée, et Webcam 2 à la webcam externe connectée par USB.

Pour débiter, dans le répertoire **Emetteur-Recepteur-Chappe** vous trouverez l'application écrite par F6HZV : **Chappe1.exe** (nécessite la VB Runtime 5.0 à installer en lançant **Msvbvm50.exe**). Avec cette application, vous pouvez saisir un texte puis cliquer sur le bouton **Envoyer/Send** déclenchant le défilement des symboles Chappe correspondant. Il ne vous restera plus qu'à initier l'apprentissage avec les images des symboles placés dans le répertoire **Alphabet-emetteur-128**, puis régler la valeur du zoom numérique dans **ChappeReceiver.exe** pour optimiser la reconnaissance (voir conseil de réglage initial ci-dessous)

*Note: L'idéal est d'avoir un PC N°1 faisant tourner **Chappe1.exe** ,et un autre PC N°2 pour **ChappeReceiver.exe** filmant l'écran du PC N°1. Si toutefois vous n'avez qu'un seul PC disponible, lancez **Chappe1.exe** que vous placez à gauche, et **ChappeReceiver.exe** à droite, et filmez l'écran en centrant le symbole Chappe affiché par **Chappe1.exe** (voir exemple ci-dessous).*



Conseil concernant le réglage initial :

- a- sélectionner un symbole fixe en cliquant sur le bouton **Test**,
- b- bien centrer le symbole dans l'image de la webcam
- c- jouer sur la valeur du zoom numérique.

Dans la section **Reconnaissance** les données indiquées dans le champ **Lettre/Score/Ratio** varieront en fonction de la valeur du zoom numérique (compris entre 128 et 480). Il suffit de trouver la valeur du zoom affichant le bon symbole reconnu (à droite de l'image vidéo) et indiquant un ratio maximal et au moins supérieur à 0.5.

Dans l'exemple ci-dessus, nous avons dans le champ **Lettre/Score/Ratio** la valeur **E – 3175 – 1,09** pour une valeur de zoom numérique : **412** signifiant :

Lettre reconnue : **E** → **OK** (le symbole affiché à côté de l'image vidéo est bien celui attendu)
Score : **3175** → Score maximum obtenu avec le symbole reconnu
Ratio : **1,09** → **OK** car plus grand que 0.5 et maximum lorsque l'on fait varier le zoom numérique

Le ratio est le rapport de la valeur du score du symbole reconnu sur la moyenne de l'ensemble des scores après avoir testé tous les symboles.

$$\text{Ratio} = \left(\frac{\text{Score}(\text{Symbole reconnu})}{\sum \text{Score}(\text{Symboles à tester})} \cdot \text{Nombre de symboles à tester} \right) - 1$$

Plus le ratio est élevé, plus la reconnaissance est fiable.

Une fois le logiciel bien pris en main, vous pouvez tester la reconnaissance optique en filmant les symboles tracés au feutre noir sur une feuille blanche (respectant les proportions des symboles d'apprentissage), voire créer votre propre maquette Chappe et définir votre propre alphabet d'apprentissage.

Remarque sur l'onglet Correlation

Cette partie du logiciel permet de visualiser le mécanisme de corrélation entre 2 images. Son utilisation est intuitive et a permis de générer les images de la section **II-2** à partir des images fournies dans le répertoire **Presentaion-Fete-Science/Correlation**
Vous pouvez facilement utiliser cette partie du logiciel.

Remarque sur l'onglet Alphabet

Il a permis de générer rapidement les symboles de référence pour la démonstration. Son utilisation ne sera pas décrite dans ce document car, n'intervient pas dans l'algorithme de reconnaissance et nécessite des notions de programmation en C# pour modifier directement la classe **Pattern.cs**

Concernant le champ délai

Ce champ règle l'intervalle minimum de temps (en millisecondes) entre deux reconnaissances : il permet d'éviter la saturation du CPU. A titre indicatif, dans la barre du bas, **Analyse** : indique le temps nécessaire pour une reconnaissance optique , et **Video** : le temps nécessaire pour l'acquisition d'une image par webcam.

Les autres options disponibles

Si l'option **Image Filtrée** est cochée, alors l'image de la webcam convertie en niveaux de gris égalisés et passée par la fenêtre de Hamming apparaît dans la zone image à droite. Si l'option n'est pas cochée, l'image originale en couleur apparaît.

Le bouton **Effacer** permet d'effacer les caractères décodés dans la zone texte (7).

L'option **Ext** permet d'accéder à une 3eme Webcam connectée au PC

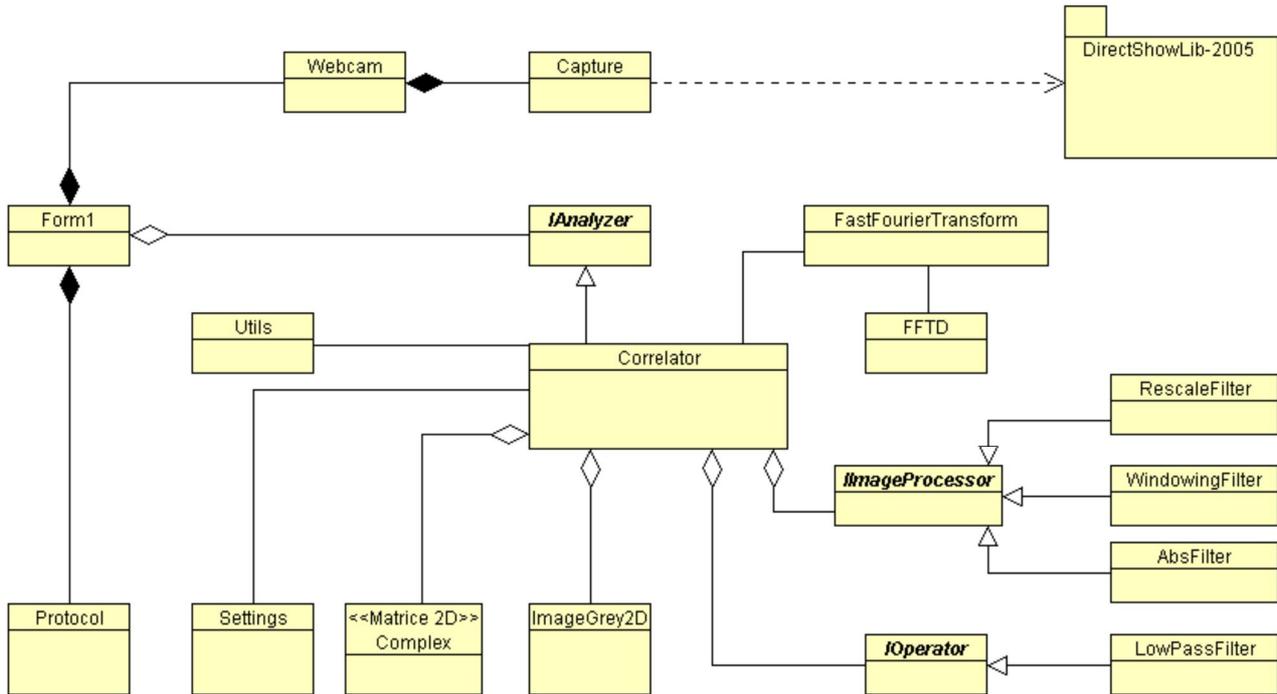
L'option **Stocker** permet d'enregistrer à la racine du programme ChappeReceiver.exe les images issues de la webcam au format Bitmap couleur.

Enfin, lorsque le symbole **STX** (début de transmission) est détecté, le cadre **Reconnaissance** devient Rouge, et les caractères décodés s'affichent dans la zone texte (7) située en dessous. Lorsque le caractère **ETX** (fin de transmission est détecté), le cadre **Reconnaissance** redevient Gris.

IV- Structure du logiciel

Le répertoire **ChappeReceiver** contient l'intégralité du code source écrit en C#. Ce projet a été développé avec **Visual Express 2008** : l'emplacement du fichier projet est **ChappeReceiver/ChappeReceiver/ChappeReceiver.csproj**

Le diagramme de classe ci-dessous modélise le logiciel de reconnaissance optique. Son écriture en C# est « orientée objet »



On y retrouve les différents éléments mentionnés en II-1, II-2 et II-3 , nécessaires au bon fonctionnement du prototype.

- . RescaleFilter → Réajustement des niveaux de gris
- . WindowingFilter → Fenêtre type Hamming
- . AbsFilter → Pour la recherche des pics de corrélation
- . LowPassFilter → Le filtre passe-bas large de 52 pixels et centré en (0,0)
- . FastFourierTransform/FFTD → FFT rapide 2 dimensions
- . Matrice 2D/Complex → Matrices carrées de nombres complexes
- . Webcam/Capture → L'étage vidéo dépendant de la librairie LGPL DirectShowLib
- . ImageGrey2D → Pour la manipulation des Images
- . Settings / Utilis → Pour la gestion mémoire et les réglages (Fenêtre de Hamming, bande passante du filtre ...)
- . Correlator → L'objet principal implémentant l'algorithme de reconnaissance optique décrit en II-2 et II-3
- . Protocol → Gestion des caractères de contrôle (ETX STX FF LF SPACE) et décodage du message
- . Form1 → La fenêtre principale permettant l'exécution du processus d'analyse dans un Thread indépendant (Background Worker)

Note : pour fiabiliser la lecture, le logiciel compare 2 reconnaissances optiques successives. Si elles sont identiques, le symbole reconnu est alors transmis à la classe **Protocol**.