



## Biais et incertitudes des mesures de surfaces réalisées à partir d'images numériques produites par un scanner à plat

### Avant propos

L'étude consiste à définir l'intervalle d'incertitude des surfaces de feuilles (plutôt rhomboïdales) évaluées à partir d'un protocole de mesure automatisé.

La difficulté majeure est d'identifier les sources potentielles de biais, sachant que dans les faits, il est impossible de les isoler pour les étudier : de ce fait, c'est plus l'effet du réglage d'un paramètre du scanner sur le résultat qui est considéré que la valeur elle-même du résultat ; par exemple, quel est l'effet de l'augmentation de la résolution optique sur les valeurs calculées : diminution ou augmentation globale de l'erreur ?

Au-delà du simple calcul d'incertitude, l'étude permettra de justifier le choix des réglages du dispositif d'acquisition.

Nous utiliserons deux types d'échantillons (voir §annexes) :

- un échantillon Etalon, composé de 15 pièces de monnaies neuves pour évaluer la précision des résultats ; bien sûr, il ne s'agit pas d'étalon au sens « métrologique » du terme : les pièces de monnaies, aussi identiques semblent-elles, présentent vraisemblablement des différences justifiant une variabilité dans les mesures réalisées. Toutefois, les pièces sont suffisamment calibrées pour caractériser des tendances ou des comportements.
- un échantillon de référence, composé de 22 feuilles de hêtre, représentatif de l'hétérogénéité des populations étudiées, fournissant un comportement identique aux échantillons étudiés

### Méthode générale :

Concrètement, nous calculerons systématiquement pour chaque surface évaluée  $S_i$  l'erreur normalisée  $E_i$  à une valeur de référence  $\check{S}$  – moyenne de l'échantillon ou valeur théorique – selon la formule suivante :

$$E_i = 100 \times (S_i - \check{S}) / \check{S}$$

Normaliser l'erreur permet de tenir compte de l'hétérogénéité des échantillons, notamment des différences de tailles des individus.


Pour chaque source potentielle de biais, l'intervalle d'incertitude sera donné par l'écart-type. Les biais significatifs seront cumulés par somme quadratique pour définir les bornes de l'intervalle d'incertitude.

### Il ressort que :

- Seulement deux facteurs ont une incidence significative sur la précision des surfaces : la **résolution optique** et l'**orientation des feuilles** dans le dispositif d'acquisition. Le cumul des incertitudes liées à chacun de ces aspects conduit à une incertitude globale de 0,94%.

L'intervalle d'incertitude est de 1%

- Les paramétrages à retenir sont :
  - **Résolution optique à 300 dpi** : pour plus de détails, se reporter au §1
  - Enregistrement des données au **format Jpg, avec un taux de compression de 50%** : pour plus de détails, se reporter au §5

	<p>Mesure des surfaces de feuilles</p> <hr/> <p>Leaver : biais et incertitudes</p>	<p>2/11</p>
---	--	-------------

<i>Avant propos</i> .....	<i>1</i>
<i>1 Résolution optique</i> .....	<i>3</i>
1.1 Objectif .....	3
1.2 Observations .....	3
1.3 Etude .....	3
1.4 Conclusion .....	3
1.5 Valeurs numériques .....	3
<i>2 Répétabilité</i> .....	<i>4</i>
2.1 Objectif .....	4
2.2 Etude .....	4
2.3 Conclusion .....	4
2.4 Valeurs numériques .....	4
<i>3 Orientation</i> .....	<i>5</i>
3.1 Objectif .....	5
3.2 Observations .....	5
3.3 Etude .....	5
3.4 Conclusion .....	5
3.5 Valeurs numériques .....	5
<i>4 De l'utilisation d'une vitre</i> .....	<i>7</i>
4.1 Objectif .....	7
4.2 Observations .....	7
4.3 Etude .....	7
4.4 Conclusion .....	7
4.5 Valeurs numériques .....	7
<i>5 Le choix de la compression</i> .....	<i>8</i>
5.1 Objectif .....	8
5.2 Observations .....	8
5.3 Etude .....	8
5.4 Conclusion .....	8
5.5 Valeurs numériques .....	8
<i>6 Le calcul de l'incertitude globale</i> .....	<i>8</i>
<i>7 Annexes</i> .....	<i>10</i>
7.1 L'échantillon Etalon .....	10
7.2 L'échantillon de référence .....	11



## 1 Résolution optique

### 1.1 Objectif

Identifier le meilleur compromis entre résolution optique<sup>1</sup> du scanner et précision des mesures.

### 1.2 Observations

L'Epson perfection V750 Pro affiche une résolution optique maximale de 6400 x 9600 dpi en mode « bi-tube ». Il est donc nécessaire d'identifier une résolution de travail, donnant un compromis satisfaisant entre précision, poids des images et temps de numérisation<sup>2</sup>.

### 1.3 Etude

5 pièces de 2€, de 50 et 20 centimes sont disposées sur la vitre du scanner et numérisées en 300, 600 et 1200 dpi. Dans les faits, les images générées en 1200 dpi n'ont pu être automatiquement traitées du fait de leur trop grande taille (9600x12000).

### 1.4 Conclusion

Curieusement, la variation de la résolution optique influe peu sur la précision des résultats : *la précision varie de 0,02 % pour un passage de 300 à 600 dpi*. Le meilleur compromis, celui minimisant l'erreur, est donné par les acquisitions en 300 dpi. Cela s'explique par le cumul de différentes approximations : arrondi des facteurs d'échelle, imprécision de la numérisation... **Le point important à retenir : l'incertitude liée à la résolution optique est d'environ 0,8%.**

### 1.5 Valeurs numériques

	Surface estimée (mm <sup>2</sup> )			Surface réelle	Erreur normalisée (%)		
	300 dpi	600 dpi	1200 dpi		300 dpi	600 dpi	1200 dpi
pièces de 2€	525,772156	525,580688		520,768	0,96091849	0,92415202	
	520,11084	520,012451		520,768	-0,12619055	-0,14508361	
	518,958557	518,81897		520,768	-0,34745664	-0,37426071	
	521,900146	521,839294		520,768	0,2173993	0,20571425	
	529,608398	529,298828		520,768	1,69756936	1,63812446	
pièces de 0,5€	459,389496	459,589874		461,863	-0,53554929	-0,49216456	
	458,852692	458,596832		461,863	-0,65177509	-0,70717247	
	457,893646	457,832794		461,863	-0,85942238	-0,87259772	
	457,9151	457,648499		461,863	-0,85477728	-0,91250024	
	465,573273	465,723572		461,863	0,80332761	0,83586951	
pièces de 0,2€	391,16745	391,568237		388,821	0,60347821	0,70655572	
	386,966187	386,706726		388,821	-0,47703519	-0,54376538	
	386,479492	386,567169		388,821	-0,60220719	-0,57965773	
	386,443726	386,2612		388,821	-0,61140576	-0,65834921	
	392,240997	392,688324		388,821	0,87958135	0,99462838	
<b>écart type</b>					<b>0,79805527</b>	<b>0,81633398</b>	

<sup>1</sup> La **résolution optique** est le nombre maximum de **Points Par Pouce** (ppp) ou de **Dots Per Inch** (dpi) que peut enregistrer le scanner. Plus cette résolution est élevée, plus la qualité de l'image numérisée est fine.

<sup>2</sup> La **numérisation** est le procédé permettant la construction d'une représentation discrète (ici une image, c'est-à-dire une matrice de points) d'un objet continu (ici des organes biologiques)



## 2 Répétabilité<sup>3</sup>

### 2.1 Objectif

Vérifier la reproductibilité du protocole

### 2.2 Etude

5 pièces de 2€, de 50 et 20 centimes sont disposées sur la vitre du scanner et numérisées successivement 6 fois selon le même protocole sans qu'aucune modification ne soit réalisée.

### 2.3 Conclusion


Contre toute attente, des variations dans le résultat de la numérisation sont constatées (vraisemblablement du fait de l'échauffement des tubes ou des variations de condition de fluorescence des tubes)... **L'incertitude liée à la répétabilité est de l'ordre de 0,015% sur l'échantillon Etalon.** Toutefois, cette variation est suffisamment faible pour être ignorée

### 2.4 Valeurs numériques

		Surface estimée (mm <sup>2</sup> )						Surface réelle
		I1	I2	I3	I4	I5	I6	
pièces de 2€		525,772156	525,836548	525,979736	525,872375	525,915283	525,807922	520,768
		520,11084	520,132324	520,146606	520,16095	520,132324	520,103699	520,768
		518,958557	518,87262	518,851196	518,829712	518,836853	518,894104	520,768
		521,900146	521,993164	522,007507	522,050415	522,050415	522,064758	520,768
		529,608398	529,651306	529,637024	529,61554	529,586914	529,644165	520,768
pièces de 0,5€		459,389496	459,396637	459,518311	459,518311	459,532623	459,532623	461,863
		458,852692	458,859863	458,888489	458,888489	458,881317	458,924286	461,863
		457,893646	457,829224	457,893646	457,979523	457,972382	457,958069	461,863
		457,9151	457,943756	458,001007	457,96521	457,936584	458,043945	461,863
		465,573273	465,666321	465,673462	465,566132	465,623383	465,55896	461,863
pièces de 0,2€		391,16745	391,239014	391,239014	391,303436	391,339203	391,310577	388,821
		386,966187	386,980499	386,944702	386,930389	386,951874	386,887451	388,821
		386,479492	386,551056	386,57254	386,594025	386,62265	386,594025	388,821
		386,443726	386,436554	386,41507	386,386444	386,343506	386,286255	388,821
		392,240997	392,248169	392,283966	392,312592	392,369843	392,384155	388,821

		erreur normalisée (%)						Ecart type
		I1	I2	I3	I4	I5	I6	
pièces de 2€		0,96091849	0,9732833	1,00077885	0,98016295	0,98840232	0,96778642	0,01447932
		-0,1261905	-0,1220651	-0,1193226	-0,1165682	-0,1220651	-0,1275617	0,00411464
		-0,3474566	-0,3639586	-0,3680725	-0,3721979	-0,3708267	-0,3598331	0,00917592
		0,2173993	0,235261	0,2380152	0,24625457	0,24625457	0,24900877	0,0117169
		1,69756936	1,70580873	1,70306624	1,6989408	1,69344391	1,70443748	0,00471314
pièces de 0,5€		-0,5355492	-0,5340031	-0,5076589	-0,5076589	-0,5045602	-0,5045602	0,01487614
		-0,6517750	-0,6502224	-0,6440245	-0,6440245	-0,6455773	-0,6362739	0,00549465
		-0,8594223	-0,8733706	-0,8594223	-0,8408287	-0,8423749	-0,8454738	0,01275725

<sup>3</sup> capacité à produire les mêmes résultats lorsque les mêmes conditions sont reproduites

	<b>Mesure des surfaces de feuilles</b> <hr/> Leaver : biais et incertitudes	5/11
---	--	------

	-0,8547772	-0,8485728	-0,8361771	-0,8439277	-0,8501256	-0,8268804	<b>0,01026428</b>
	0,80332761	0,82347384	0,82501997	0,80178148	0,81417715	0,80022864	<b>0,01114852</b>
pièces de 0,2€	0,60347821	0,62188359	0,62188359	0,63845214	0,64765098	0,64028872	<b>0,01623123</b>
	-0,4770351	-0,4733543	-0,4825608	-0,486242	-0,4807163	-0,4972851	<b>0,00834857</b>
	-0,6022071	-0,5838018	-0,5782763	-0,5727507	-0,5653887	-0,5727507	<b>0,01284756</b>
	-0,6114057	-0,6132503	-0,6187757	-0,6261379	-0,6371811	-0,6519053	<b>0,01563768</b>
	0,87958135	0,8814259	0,89063245	0,89799471	0,91271896	0,91639983	<b>0,01555107</b>

### 3 Orientation

#### 3.1 Objectif

Evaluer l'influence de l'orientation des individus dans le scanner sur le résultat de la numérisation<sup>4</sup>, et par la même sur la précision des mesures.

#### 3.2 Observations

La représentation discrète d'un objet continu dépend de la façon dont les capteurs du dispositif d'acquisition « voient » ce dernier : de ce fait, la position et l'orientation de l'objet continu dans le champ de capteurs influent sensiblement sur sa représentation discrète.

#### 3.3 Etude

22 feuilles de Hêtre, de forme et de taille hétérogènes, sont disposées sur la vitre du scanner, (*et aplaties par une plaque en verre*) ; 5 acquisitions sont réalisées en 300 dpi en positionnant les feuilles selon différentes directions : la verticale, les diagonales droite et gauche, les horizontales droite et gauche...

#### 3.4 Conclusion

**L'incertitude liée à l'orientation est d'environ 0,5%.** L'importance des variations observées conduit à recommander une rigueur dans l'orientation des feuilles.

#### 3.5 Valeurs numériques

Surface estimée (mm <sup>2</sup> )				Surf. Moyenne
vertical	oblique +45°	horizontal +90°	horizontal -90°	
656,590698	661,958618	665,615906	656,547791	660,178253
929,808167	932,900024	932,628113	925,556824	930,223282
929,15686	929,822449	929,629211	929,085266	929,423447
954,972717	951,666138	950,442261	954,636353	952,929367
764,341797	763,232422	763,58313	770,912048	765,517349
319,882111	317,441528	314,492767	318,464996	317,570351
289,435547	292,505981	294,953735	286,880463	290,943932
628,470215	629,780029	631,1828	626,337402	628,942612
909,403076	908,279419	908,630127	907,327515	908,410034
1012,20856	1010,71985	1009,954041	1015,45075	1012,0833
873,538574	870,217651	865,787354	873,144897	870,672119

<sup>4</sup> La **numérisation** est le procédé permettant la construction d'une représentation discrète (ici une image, c'est-à-dire une matrice de points) d'un objet continu (par exemple des organes biologiques)



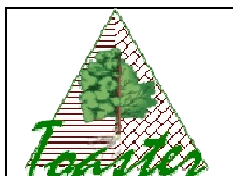
## Mesure des surfaces de feuilles

Leaver : biais et incertitudes

6/11

513,712341	516,203003	519,251953	514,764465	515,982941
161,071899	160,50647	159,232498	158,137451	159,73708
420,705048	421,728516	422,83786	420,375793	421,411804
577,375305	577,683044	575,600281	575,528748	576,546845
206,462601	203,3564	199,298279	203,256195	203,093369
605,409851	601,27301	597,851929	607,184875	602,929916
877,911621	878,748962	876,709167	867,812866	875,295654
817,354858	818,464233	819,666626	813,396973	817,220673
464,055969	464,277832	463,49054	463,147003	463,742836
759,210083	758,165161	754,872864	756,440247	757,172089
1023,36658	1017,54065	1012,709534	1023,00873	1019,15637

Erreur normalisée (%)				ecart-type erreur (%)
vertical	oblique +45°	horizontal +90°	horizontal -90°	
-0,54342221	0,2696794	0,82366432	-0,54992151	<b>0,6705399</b>
-0,04462531	0,28775263	0,25852191	-0,50164924	<b>0,36664176</b>
-0,028683	0,04293011	0,02213894	-0,03638605	<b>0,03864275</b>
0,21442825	-0,13256274	-0,26099587	0,17913035	<b>0,2336371</b>
-0,15356311	-0,29848145	-0,25266824	0,7047128	<b>0,47368561</b>
0,72795225	-0,04056503	-0,96910291	0,28171569	<b>0,7188148</b>
-0,51844508	0,53689022	1,37820489	-1,39665003	<b>1,21203911</b>
-0,07510964	0,13314689	0,35618329	-0,41422054	<b>0,32752341</b>
0,10931647	-0,01437845	0,02422835	-0,11916637	<b>0,09477072</b>
0,01237635	-0,13471707	-0,21038357	0,33272429	<b>0,24032517</b>
0,32922324	-0,05219738	-0,56103381	0,28400795	<b>0,4109063</b>
-0,44005321	0,04264918	0,6335505	-0,23614647	<b>0,46641083</b>
0,83563535	0,48166055	-0,31588251	-1,00141339	<b>0,82318363</b>
-0,16771155	0,07515493	0,33839957	-0,24584296	<b>0,26377292</b>
0,14369353	0,19706976	-0,16417807	-0,17658522	<b>0,19800766</b>
1,65895729	0,12951248	<b>-1,86864287</b>	0,0801731	<b>1,44535655</b>
0,41131393	-0,2748091	-0,84221849	0,70571366	<b>0,69571616</b>
0,29886667	0,39453046	0,16148978	-0,85488691	<b>0,5778945</b>
0,01641974	0,15216949	0,29930147	-0,4678907	<b>0,33263004</b>
0,06752298	0,1153648	-0,05440429	-0,12848349	<b>0,11155899</b>
0,26915866	0,13115542	-0,30365947	-0,09665461	<b>0,25245417</b>
0,41310687	-0,15853534	-0,63256613	0,37799459	<b>0,49625617</b>
				<b>0,50980652</b>



## 4 De l'utilisation d'une vitre

### 4.1 Objectif

Evaluer l'influence de l'aplatissement des feuilles sur la précision des mesures.

### 4.2 Observations

Les feuilles sont généralement ondulées. L'Epson perfection V750 Pro est muni d'un système de rétro-éclairage afin de minimiser l'effet « ombre portée » des objets non plans. Toutefois, les surfaces évaluées le sont par défaut puisque l'intégralité de l'objet ne repose pas sur la vitre du scanner. Afin de minimiser cette erreur, il est possible d'aplatir des feuilles encore souples en les compressant sous une vitre transparente.

### 4.3 Etude

Elle sera menée sur l'échantillon de référence, composé de 22 feuilles de Hêtre de forme et de taille hétérogènes. Deux acquisitions, sans et avec vitre, sont effectuées ; on admet que la seconde donnera des résultats plus proches de la réalité puisque minimisant la déformation des individus. L'étude s'intéresse ici à la variation normalisée des surfaces.

### 4.4 Conclusion

**L'incertitude liée à l'absence de mise en charge est d'environ 1,6%.** Ce résultat justifie pleinement l'utilisation d'une plaque de verre pour limiter l'erreur. Du coup, la vitre étant utilisée dans le protocole de mesure, cette incertitude ne sera pas comptabilisée.

### 4.5 Valeurs numériques

M1 : sans vitre	M2 : avec vitre	
Surface estimée (mm <sup>2</sup> )	Surface estimée (mm <sup>2</sup> )	(M1-M2) / M2 (%)
391,825897	393,293121	-0,373061191
911,142273	925,198975	-1,519316642
1371,87732	1417,06763	-3,189001508
1665,80762	1695,4668	-1,749322373
1884,10095	1905,70129	-1,133458956
1599,21021	1626,30005	-1,665734685
1197,34998	1245,84692	-3,892689147
1580,93799	1646,78381	-3,998449856
1587,05017	1663,93958	-4,620925252
1023,91052	1068,91467	-4,210265996
600,571655	630,803467	-4,792588117
1199,99817	1253,84143	-4,294264065
630,374023	665,694641	-5,305828803
1040,83716	1083,58691	-3,945207851
écart type		1,579317584



## 5 Le choix de la compression

### 5.1 Objectif

Identifier le meilleur compromis entre compression et précision des mesures.

### 5.2 Observations

L'Epson perfection V750 Pro propose plusieurs mode d'enregistrement de l'image. Le choix du format et surtout du taux de compression pourrait avoir une incidence sur la précision des résultats.

### 5.3 Etude

Elle sera menée sur l'échantillon Etalon. Deux enregistrements au format Jpeg sans compression et avec une compression moyenne sont effectués puis comparés aux valeurs théoriques.

### 5.4 Conclusion

Quelque soit le facteur de compression utilisé, l'erreur normalisée reste à peu près identique, la variation observée étant d'environ 0,02%. En d'autres termes, le taux de compression n'a pas réellement d'incidence sur la précision des résultats, les 0,8% affichés étant donnés par la précision optique (voir §1.). **L'incertitude liée à la compression est d'environ 0,02%**. Cette variation peut-être considérée comme négligeable : de ce fait, autant utiliser une compression moyenne qui aura l'avantage de réduire le poids des images à traiter.

### 5.5 Valeurs numériques

	Surface estimée (mm <sup>2</sup> )		surface réelle	Erreur normalisée (%)	
	comp 1%	comp 50%		comp 1%	comp 50%
pièces de 2€	525,800781	525,772156	520,768	0,96641518	0,96091849
	520,003479	520,11084	520,768	-0,14680645	-0,12619055
	518,686584	518,958557	520,768	-0,39968201	-0,34745664
	521,914429	521,900146	520,768	0,22014198	0,2173993
	529,186096	529,608398	520,768	1,6164772	1,69756936
pièces de 0,5€	459,754517	459,389496	461,863	-0,45651698	-0,53554929
	458,68808	458,852692	461,863	-0,68741597	-0,65177509
	457,743347	457,893646	461,863	-0,89196428	-0,85942238
	457,721863	457,9151	461,863	-0,89661588	-0,85477728
	465,566132	465,573273	461,863	0,80178148	0,80332761
pièces de 0,2€	391,482361	391,16745	388,821	0,68446946	0,60347821
	386,765778	386,966187	388,821	-0,52857793	-0,47703519
	386,379303	386,479492	388,821	-0,62797457	-0,60220719
	386,085846	386,443726	388,821	-0,70344812	-0,61140576
	392,462891	392,240997	388,821	0,93664977	0,87958135
écart type				0,81124175	0,79805527

## 6 Le calcul de l'incertitude globale

L'incertitude globale est obtenue par somme quadratique (racine carré de la somme des carrés des écart-types) des écart-types jugés significatifs.





## Mesure des surfaces de feuilles

Leaver : biais et incertitudes

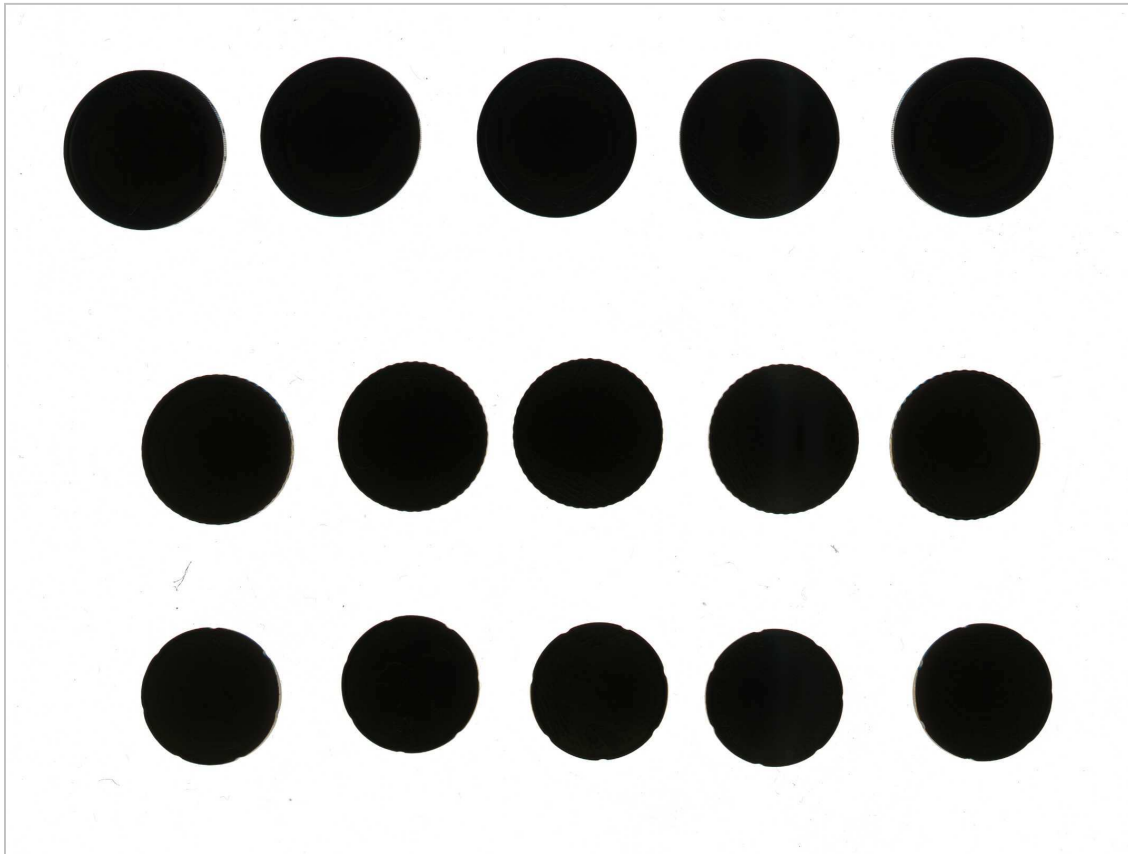
9/11

- Précision optique + orientation :  $\sqrt{0,8^2 + 0,5^2} = 0,94$
- Précision optique + orientation compression + répétabilité :  $\sqrt{0,8^2 + 0,5^2 + 0,02^2 + 0,015^2} = 0,94$



## 7 Annexes

### 7.1 L'échantillon Etalon



5 pièces de 2€, 5 pièces de 50 cts et 5 pièces de 20 cts disposées sur 3 lignes. Selon la Banque de France, les diamètres respectives de ces pièces sont 25.75 mm, 24.25 mm et 22.25 mm. Cela nous permet d'en déduire respectivement les surfaces théoriques suivantes : 520.768 mm<sup>2</sup>, 461.863 mm<sup>2</sup> et 388.821 mm<sup>2</sup>

Les pièces de monnaies sont soigneusement calibrées lors de leur production : toutefois, elles n'ont pas la précision des étalons utilisés en métrologie. Toutefois, ces pièces sont suffisamment neuves (donc a priori sans défaut) pour constituer un échantillon permettant de caractériser de manière réellement significative des tendances ou des comportements.



## 7.2 L'échantillon de référence



22 feuilles de Hêtre représentant un échantillon hétérogène en termes de taille et de forme. Ces individus ont une signature identique à celles des lots qui seront mesurés : même type de déformation, de comportement photométrique, ...